



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARTES VISUALES Y MULTIMEDIA

Entornos

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Neurovirtualidad e ignominia, aplicación de biofeedback a entornos virtuales

Trabajo presentado por:
D. Carles Jesús Ferrero Ibáñez

Dirigido por:
Dr. Francisco Giner Martínez

VALENCIA, septiembre de 2019

ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Motivación personal.....	6
3. objetivos y metodología.....	7
3.1 Objetivos.....	7
3.1.1 Objetivos principales	7
3.1.2 Objetivos secundarios	8
3.2 Metodología y estructura.....	8
3.2.1 Metodología.....	8
3.2.2 Estructura	9
4. Marco teórico	10
4.1 El Holocausto, consecuencia de la llegada del fascismo al poder.....	10
4.1.1 Fascismo y neo-fascismo.....	10
4.1.2 Auschwitz.....	14
4.1.3 El miedo en Auschwitz	16
4.2 Emociones	19
4.2.1 ¿Qué son las emociones?	19
4.2.2 Procedimientos de inducción del estado de ánimo	21
4.3 Inmersión y presencia	23
4.3.1 Inmersión.....	23
4.3.2 Presencia.....	24
4.4 Cronología de la realidad virtual	27
4.4.1 Origen y evolución de los entornos 3D para realidad virtual.....	27
4.4.2 usos de la realidad virtual en la actualidad.....	29
4.5 Referentes	31
5. Desarrollo práctico.....	33
5.1 Elección del escenario	34

5.2 Diseño de la experiencia	35
5.2.2 Diseño del escenario	36
5.3 Modelado y texturizado	40
5.3.1 Modelado de objetos y edificios	40
5.3.2 Texturizado	45
5.3.3 Creación del terreno	50
5.3.4 Creación del escenario.....	52
5.4 Creación del sistema electrónico de bio-feedback	56
5.4.1 Electroencefalograma	59
5.4.2 Sensor de pulso.....	61
5.4.3 Sensor de respuesta galvánica de la piel	62
5.4.5 Sistema de luces	63
.....	64
5.4.6 Creación de la placa base de la electrónica.....	64
5.4.7 Creación de la carcasa mediante impresión 3D.....	66
5.5 Programación	67
6. Test de usabilidad y resultados.....	69
6.1 Test de usabilidad	69
6.2 Resultados.....	71
7. Conclusiones y trabajo futuro.....	74
Bibliografía	77
Anexos	83
Programación Unreal Engine	89
Imágenes del escenario en el motor de juego.....	90

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de final de máster se exploran las posibilidades de inmersión que se pueden alcanzar dentro de una experiencia virtual en entornos 3D. Al mismo tiempo, propone una reflexión sobre la capacidad de autocontrol del estado de tensión frente a un escenario virtual con una alta carga emocional como es una reproducción del campo de concentración de Auschwitz.

El auge que está viviendo la extrema derecha, no tan sólo en Europa sino en multitud de países del mundo, nos lleva irremediablemente a recordar las atrocidades cometidas en el pasado tras la llegada al poder en distintos estados de esta ideología, sobre todo por los países del eje (Alemania, Italia y Japón) durante la segunda guerra mundial, pero también en países como España, y posteriormente Chile o Argentina.

Al hablar de la extrema derecha es inevitable retrotraerse a la primera mitad del siglo XX y pensar en el gobierno nazi alemán y el exterminio que llevó a cabo contra los judíos, también conocido como el “holocausto”, pese a que también fueron asesinados millones de personas de distintas nacionalidades o etnias, tales como soviéticos, eslavos, gitanos o masones, en distintos campos de concentración tales como Mauthausen en Austria o Auschwitz en Polonia.

¿De qué manera se podría mostrar en la actualidad el horror de ser un prisionero en uno de esos campos de concentración? Se han producido películas, escrito libros, obras interactivas... pero la tecnología actual ha propiciado la aparición de sistemas de realidad virtual que proporcionan una inmersión que hace unos años era imposible de alcanzar debido a limitaciones técnicas. Por tanto, es un medio ideal para inmergir al espectador en uno de estos campos de concentración y comprobar qué emociones desarrolla durante la experiencia.

¿Cómo se pueden controlar estas emociones, sobre todo las negativas? La ansiedad, el estrés, el miedo... son emociones instintivas que se experimentan ante situaciones de peligro. Son una señal fisiológica que el ser humano ha desarrollado de forma evolutiva para ayudarle a afrontar los peligros que podrían poner en riesgo su supervivencia. Esta respuesta neurológica ante el peligro era útil y necesaria en la prehistoria, donde el homínido cazador-recolector, siendo tanto depredador como presa, debía enfrentarse a los peligros naturales del entorno como cualquier otro mamífero. El desarrollo neuronal de este periodo que abarca desde el paleolítico hasta el neolítico, se caracteriza por un aumento de la masa cerebral y por tanto de la capacidad de aprendizaje y transmisión del conocimiento, lo que lleva al ser humano a convertirse en productor, y con el tiempo, a establecerse en sociedades que aseguraban la integridad física de sus miembros frente a los peligros de la naturaleza. Desde este periodo que empieza en el año 7000 a.c. hasta la actualidad, el modo de vida del ser humano ha cambiado de forma rápida y radical, pero nuestro sistema instintivo de alerta no ha evolucionado a la misma velocidad, por lo que muchas de las situaciones cotidianas a las que se enfrentan las personas, provocan respuestas de estrés y ansiedad pese a que no representan ningún peligro real. Se calcula que entre un 3% y un 5% de la población mundial padece trastorno de ansiedad generalizada, que se da por causas o situaciones que por lo general no deberían detonar esta respuesta neuronal, y la persona no es capaz de controlar.

Por tanto, es necesario tomar conciencia de nuestros estados de estrés y ansiedad, saber identificar cuándo aparecen, y aprender a mantener la calma y la tranquilidad para desarrollar una buena calidad de vida. En este proyecto se pueden explorar las posibilidades de toma de conciencia respecto al malestar inducido por el entorno virtual que representa el campo de concentración de Auschwitz mediante un recorrido virtual por distintas estancias del campo, cuyo contenido cambiará dependiendo de los datos biométricos recogidos por distintos sensores corporales.

Para llevar a cabo esta inmersión, se utilizan unas gafas de realidad virtual de nueva generación con sus controladores, y se utilizan distintos sensores biométricos para que el entorno interactúe con el usuario. Estos sensores consisten en un detector de ritmo de pulso cardíaco, un sensor de respuesta galvánica de la piel, y un sistema de encefalograma. Estos sensores detectan el estado de tensión o relajación, y lo envían al motor del entorno 3D que realiza cambios en el escenario acordes a la actividad biométrica que sea detectada en cada momento. El resto de espectadores en la sala no podrán ver las imágenes que el usuario visualiza en las gafas de realidad virtual, pero podrán saber en todo momento el estado de tensión del usuario a través de unas luces led incorporadas al casco de realidad virtual.

Con este sistema se insta al usuario a asumir el control de su propia mente frente a diversas situaciones de estrés, y a reflexionar sobre la importancia del autocontrol mental. Al mismo tiempo se busca encontrar un flujo de trabajo óptimo para la realización de entornos tridimensionales realistas destinados a ser utilizados en proyectos de realidad virtual.

2. MOTIVACIÓN PERSONAL

En este trabajo he querido unir dos temas de mi interés para realizar la práctica artística anteriormente descrita.

Por una parte, he explorado las posibilidades de inmersión mediante los actuales dispositivos de realidad virtual. Desde niño he jugado a videojuegos y creo que uno de los caminos que debe seguir el desarrollo de éstos debe ser hacia la inmersión total, haciendo creer al espectador que realmente se encuentra dentro de ellos. Esto no solo debe aplicarse a videojuegos, sino que también se puede emplear para tours virtuales, aplicaciones médicas o incluso para un posible futuro desarrollo de producciones cinematográficas para realidad virtual. Por tanto, es mi deseo

aprender los métodos de producción gráficos para entornos virtuales con el objetivo de lograr la mayor inmersión posible.

Por otra parte, el haber conocido un número considerable de personas con problemas de trastorno de ansiedad me ha llevado a cuestionarme si hay métodos distintos de la psicoterapia tradicional que puedan ayudar a estas personas a mantener la ansiedad y el estrés bajo control. Uno de estos métodos es la terapia mediante realidad virtual, que lleva realizándose desde los años 90 del pasado siglo, pero que siempre ha estado limitada por la potencia gráfica, y, sobre todo, limitado a experiencias predefinidas y por lo general no interactivas. En este trabajo incluyo el componente de interactividad que reacciona dependiendo del estado mental del usuario, para comprobar si es factible y útil de cara a un posible estudio de doctorado que profundice más en este tema.

3. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

3.1 Objetivos

Para este trabajo final de máster se han establecido una serie de objetivos que se han dividido por orden de prioridad entre principales y secundarios.

3.1.1 OBJETIVOS PRINCIPALES

- Desarrollar un sistema electrónico funcional de adquisición de datos biométricos que detecte el estado de tensión del usuario.
- Crear una experiencia en realidad virtual dentro de un entorno tridimensional que reaccione dependiendo del estado mental del usuario.
- Producir en el usuario la sensación de ansiedad, inquietud o desagrado que se espera que produzca un escenario tal como el campo de concentración y exterminio de Auschwitz.

3.1.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Aprender y aplicar un correcto flujo de trabajo de modelado, texturizado e integración de modelos 3D en el motor de juego Unreal Engine orientados a la producción gráfica para realidad virtual.

- Aprender los conceptos básicos de programación de Unreal Engine para aplicarlos en la creación de la experiencia.

3.2 Metodología y estructura

3.2.1 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se ha utilizado en un principio una metodología cualitativa en la que se ha recopilado una serie de documentos, trabajos, libros y papers sobre los distintos temas a tratar, para analizar el estado de la cuestión, y realizar una estructuración del trabajo.

No se ha podido realizar un trabajo de campo in situ debido a las limitaciones económicas, pero se ha realizado una recopilación documental a través de testimonios, fotografías, documentales y películas sobre el holocausto que permiten un acercamiento a las emociones que sintieron las víctimas.

Finalmente se ha utilizado una metodología cuantitativa para comprobar el efecto que esta experiencia virtual produce sobre los usuarios, comprobando para ello qué emoción produce cada estancia del escenario, y también para saber qué nivel de inmersión siente cada usuario de manera subjetiva durante este recorrido virtual.

3.2.2 ESTRUCTURA

Para estructurar este trabajo, se ha dividido su contenido en dos partes principales. En primer lugar, se expone el marco teórico en el que se sigue un hilo conductor que lleva desde el miedo sufrido en los campos de concentración nazis de la segunda guerra mundial hasta la forma de replicar esa angustia mediante entornos de realidad virtual. Para ello se ha hecho una búsqueda y revisión sobre bibliografía que abarca los temas de Auschwitz y el holocausto, así como de los efectos psicológicos sufridos por los presos; bibliografía y papers sobre las emociones y la inducción de estados de ánimo, y finalmente, sobre inmersión en entornos virtuales.

En segundo lugar, se expone el proceso seguido para la realización de la parte práctica del trabajo, que abarca la elección y diseño del escenario, la descripción del modelado y texturizado del entorno, y la creación e implementación del sistema electrónico de bio-feedback encargado de medir el nivel de tensión del usuario.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos referentes a la consecución de la inducción del miedo o ansiedad, mediante el pase de cuestionarios a los usuarios que han completado el recorrido.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 El Holocausto, consecuencia de la llegada del fascismo al poder

4.1.1 FASCISMO Y NEO-FASCISMO

4.1.1.1 *El fascismo en el siglo XX*

El fascismo en el sentido estricto de la palabra es un movimiento ideológico y régimen político nacido en Italia de la mano de Benito Mussolini tras la primera guerra mundial, en 1922, que representa una idea política nacionalista radical y autoritaria. Se basa en ideas como la antidemocracia, el antiliberalismo, el anticomunismo, el anticapitalismo y el antisemitismo. Esta doctrina política se puso en práctica en distintos países, entre los cuales se encuentran el régimen fascista de Mussolini en Italia y el régimen nazi de Hitler en Alemania¹.

Los fascistas tenían la creencia de que la democracia liberal estaba obsoleta, y consideraban que la movilización completa de la sociedad bajo un estado totalitario de partido único era necesaria para preparar a una nación para el conflicto armado y responder eficazmente a las dificultades económicas. Tal estado debía estar dirigido por un líder fuerte, tal como un dictador, y por un gobierno formado por militares y compuesto por miembros del partido fascista gobernante, para forjar la unidad nacional y mantener una sociedad estable y ordenada. El fascismo rechazaba las afirmaciones de que la violencia es de naturaleza negativa, y veía la violencia política, la guerra y el imperialismo como medios que podían lograr un rejuvenecimiento del patriotismo. Los fascistas abogaban por una economía mixta con el objetivo

¹ Essays, UK. "The Rise of Fascism in The 20th Century". <https://www.ukessays.com/essays/history/the-rise-of-fascism-in-the-20th-century-history-essay.php?vref=1> (consultada el día 15 de Junio de 2019)

principal de lograr la autarquía a través de políticas económicas proteccionistas e intervencionistas².

Según el historiador Robert Paxton:

*"El fascismo es una forma de comportamiento político marcada por una obsesiva preocupación por el declive de la comunidad, la humillación o la victimización y por cultos compensatorios de unidad, energía y pureza, en los que un partido de base masiva de militantes nacionalistas comprometidos, que trabaja en colaboración incómoda pero efectiva con las élites tradicionales, abandona las libertades democráticas y persigue con violencia redentora y sin restricciones éticas o legales los objetivos de la limpieza interna y la expansión externa"*³.

4.1.1.2 El auge del nazismo

La derrota en la primera guerra mundial y la consiguiente desilusión y frustración de la población de Alemania, abrieron el camino para el éxito de la propaganda de Hitler y los nazis. El resentimiento de los alemanes a causa del Tratado de Versalles, tanto hacia sus vecinos vencedores como hacia los políticos alemanes que firmaron la rendición, así como la hiperinflación de la moneda alemana en 1923, fue el caldo de cultivo idóneo para que Hitler y el partido nacionalsocialista ganaran adeptos.

La contribución individual más importante de Hitler a la teoría y la práctica del nazismo fue su profunda comprensión de la psicología y la propaganda de masas. Subrayó el hecho de que toda propaganda debe mantener su nivel intelectual en la capacidad del menos inteligente de

² History of Western Civilization, "Fascism", OER Services, <https://courses.lumenlearning.com/suny-hccc-worldhistory2/chapter/fascism/> (consultada el día 15 de junio de 2019).

³ Robert Paxton, Anatomy of Fascism (Nueva York: Alfred A. Knopf, 2004), 218.

aquellos a quienes va dirigida y que su veracidad es mucho menos importante que su éxito. Según Hitler:

“Es parte del genio de un gran líder hacer que incluso adversarios muy separados aparezcan como si pertenecieran a una sola categoría, porque entre personajes débiles e indecisos el reconocimiento de varios enemigos marca con demasiada facilidad el comienzo de la duda sobre la propia rectitud.”

Hitler encontró este común denominador en los judíos. Los judíos debían ser discriminados no por su religión sino por su "raza". El nazismo declaró que los judíos, independientemente de su desarrollo educativo y social, eran fundamentalmente diferentes y hostiles a los alemanes.

El nazismo mantuvo su poder mediante la coerción y la manipulación de masas. El régimen nazi difundió un flujo continuo de propaganda a través de todos los medios de comunicación culturales e informativos. Sus mítines, sus insignias y sus miembros uniformados fueron diseñados para emitir un aura de omnipotencia. La parte inferior de su maquinaria propagandística era su aparato de terror, con su omnipresente policía secreta y sus campos de concentración. Fanatizó y dirigió el antisemitismo alemán para hacer de los judíos un símbolo de todo lo que se odiaba y temía. Por medio de una retórica engañosa, el partido retrató a los judíos como el enemigo de todas las clases de la sociedad⁴.

⁴ Encyclopaedia Britannica, 15.a ed., s. v. «Nazism».

4.1.1.3 El auge del fascismo en el siglo XXI

En la actualidad, la extrema derecha no deja de crecer en Europa. En Francia, la líder del Frente Nacional, Marine Le Pen, consiguió 10.6 millones de votos en las elecciones del año 2017, el doble de los conseguidos por su padre en las elecciones del 2002. En Austria, el Partido por la libertad formado por antiguos oficiales de las SS ha entrado en el gobierno en coalición con la centro-derecha. En Alemania, el partido Alternativa por Alemania, partido radical de derechas fundado hace 6 años, fue el tercer partido más votado en las elecciones federales del 2017. En Suecia, el partido Democracia Sueca, formado por miembros de movimientos nazis han mejorado sus resultados hasta obtener el 17,5% de los votos. En España, el partido de extrema derecha Vox ha entrado en el congreso de los diputados con el 10% de los votos. En comparación a estos resultados, en 1930 el partido Nacionalsocialista Alemán recibió el 18.3% de los votos⁵.

Hay diversas hipótesis sobre las causas de este gran aumento de votos a partidos de extrema derecha. Entre estas causas se encuentra una ola racista y anti-inmigración. En Italia por ejemplo son conocidos los actos de Mateo Salvini de prohibir el desembarco de inmigrantes rescatados en el Mar Mediterráneo. Además propuso en 2018 realizar un censo de gitanos, que puede recordar al censo de judíos hecho por el gobierno nazi en 1938⁶. En España, VOX ha pedido en diversos puntos de España listas de distintas personas que imparten talleres y charlas de temática LGTBI⁷.

⁵ Mark L. Thomas, "Fascism in Europe today", International Socialism, <http://isi.org.uk/fascism-in-europe-today/> (Consultada el día 16 de Junio de 2019).

⁶ Francisco Carantoña, "El fascismo del siglo XXI ya es una amenaza", La Voz de Asturias, <https://www.lavozdeasturias.es/noticia/opinion/2018/06/25/fascismo-siglo-xxi-seria-amenaza/00031529948906059513848.htm> (Consultada el día 16 de Junio de 2019)

⁷ Javier Pardo, "La segunda lista negra de VOX: colectivos LGTBI, perseguidos", *El Plural*, 1 Julio, 2019.

4.1.2 AUSCHWITZ

Volviendo al año 1940, en plena segunda guerra mundial, debido a la falta de espacio en las cárceles por la cantidad de presos políticos polacos, el gobierno nazi comenzó la construcción de varios campos de concentración en las cercanías de la localidad de Auschwitz. El primero de los campos de



1. Entrada al campo Auschwitz I

concentración que se construyó se conoce como Auschwitz I, que empezó con 728 presos políticos en 1940 y acabó albergando unos 30.000 presos entre judíos, prisioneros de guerra soviéticos, gitanos u homosexuales en 1943⁸.

Aunque no fue planeado como un campo de exterminio, en 1941 se empieza a experimentar con el gas Zyklon B como forma de ejecución masiva sobre los prisioneros no aptos para trabajar⁹, y para deshacerse de los cadáveres de los fallecidos se fabricaron hasta tres hornos crematorios capaces de incinerar 340 cuerpos cada 24 horas¹⁰. En Octubre de 1941 comenzó la construcción de un segundo campo de



2. Entrada a Auschwitz-Birkenau

concentración con una capacidad de 125.000 prisioneros conocido como Auschwitz II-Birkenau en las cercanías de Auschwitz, debido a la gran

⁸ Yisrael Gutman y Michael Berenbaum, *Anatomy of the Auschwitz Death Camp* (Bloomington, Indiana: Indiana University Press, 1998), 6

⁹ Deborah Dwork y Robert Jan Pelt, *Auschwitz, 1270 to the Present* (Norton, 2002), 292

¹⁰ Franciszek Piper, *Auschwitz, 1940–1945. Central Issues in the History of the Camp. Volume III: Mass Murder* (Auschwitz-Birkenau State Museum, 2000), 128

cantidad de prisioneros apresados tras las victorias alemanas sobre la Unión Soviética¹¹. En 1942 los nazis decretaron la aniquilación de la etnia judía¹² y convirtieron este campo en un centro de trabajos forzados y exterminación, en el que se construyeron 4 recintos con hornos crematorios, cámaras de gas y morgues.

En 1942 se construyó el tercer campo en las cercanías de Auschwitz, conocido como Auschwitz III-Monowitz, para surtir de mano de obra esclava a las fábricas de caucho cercanas, siendo el primer campo de concentración financiado por la industria privada¹³. Su construcción



3. Vista de las factorías del campo Auschwitz-Monowitz

no estuvo pensada como campo de exterminio, por lo que los trabajadores enfermos o incapaces de trabajar eran trasladados a Auschwitz-Birkenau para su ejecución en las cámaras de gas.

Los prisioneros, a su llegada al campo de concentración, eran divididos por sexos, y a su vez, divididos entre aptos para los trabajos forzados, y enfermos incapaces de trabajar. Los que no eran aptos para el trabajo eran llevados al crematorio para su ejecución, y el resto eran despojados de sus ropas, obligados a ducharse y trasladados a los barracones¹⁴.

En un día normal, los prisioneros eran despertados a las 4:30 por el encargado, y tras utilizar las letrinas y beber el café o té correspondiente al desayuno del día, formaban filas para la realización del recuento por parte del oficial al mando, en el que podían sufrir cualquier tipo de castigo o

¹¹ Peter Longerich, *Holocaust: The Nazi Persecution and Murder of the Jews* (Oxford University Press, 2010), 260

¹² Ibid, 313

¹³ Sybille Steinbacher, *Auschwitz* (Melusina, 2016), 54.

¹⁴ Viktor Frankl, *El hombre en busca del sentido* (Editorial Herder, 1991), 14-16.

vejación. Tras eso, les esperaba una jornada de trabajo de 11 horas en tareas normalmente relacionadas con la construcción, como canteras o aserraderos, sin periodos de descanso¹⁵.

Los presos que eran incapaces de trabajar debido a lesiones o enfermedades eran conducidos hasta los crematorios del campo bajo la mentira de que iban a recibir una ducha o desinfección. Se desvestían en una sala destinada para ello, y posteriormente entraban en la cámara de gas, quedando encerrados en ella hasta que el gas Zyklon B producía la muerte de todos ellos¹⁶. Tras 20 minutos, los prisioneros seleccionados para trabajar en los crematorios accedían a la cámara de gas para trasladar los cadáveres a la morgue, donde se les retiraba cualquier objeto con un mínimo de valor, tales como anillos, gafas, dientes de oro o incluso el cabello. Finalmente, los cuerpos eran incinerados en los hornos destinados a tal efecto, y las cenizas eran enterradas, lanzadas al río o usadas como fertilizante¹⁷.

4.1.3 EL MIEDO EN AUSCHWITZ

Resulta obvio que la principal emoción que sentían los presos de Auschwitz era el miedo, pero la única forma de aproximarnos al nivel de miedo que sentían es a través de los propios testimonios de los supervivientes.

Cuatro judíos supervivientes a Auschwitz publicaron el libro *Fear Volkswagen*, donde hablan del miedo sufrido por ellos mismos cuando fueron seleccionados como mano de obra esclava en la factoría de Volkswagen. Uno de los autores, Moshe Shen afirma que, por su parte, la sensación de miedo no era permanente:

“¿Estuve viviendo con miedo todo el tiempo? No, yo no diría eso. Teníamos miedo de que nos ejecutaran por hablar con alguien, pero

¹⁵ Sybille Steinbacher, *Auschwitz* (Melusina, 2016), 33.

¹⁶ Yisrael Gutman et al., *Anatomy of the Auschwitz Death Camp* (Bloomington, Indiana: Indiana University Press, 1998), 169-170.

¹⁷ Ibid, 171.

el miedo no era permanente. Nadie sabía que pasaría el día siguiente, todo podía cambiar de la noche a la mañana. Cuando la fábrica de Volkswagen fue bombardeada, fue la primera vez que experimentamos auténtico miedo. No sabíamos lo que podía pasar, o si nos enviarían de vuelta a Auschwitz. El miedo era mayor en Tirekelet, todos mirábamos hacia arriba cuando los bombarderos se dirigían a Alemania por la noche. En Mittelbau simplemente existíamos. ¿Estábamos viviendo con miedo? No lo sé, no lo sé”¹⁸.

Sara Frenkel, otra de las coautoras del libro, consiguió salvar su vida entrando a trabajar en la fábrica de Volkswagen gracias a documentación falsa, lo que provocó que el miedo a ser descubierta y devuelta a Auschwitz para su ejecución fuese constante:

“Alguna chica polaca podría accidentalmente -no maliciosamente pero sí accidentalmente- llamarme Sara porque me conocía. Entonces me habrían devuelto al campo de concentración, así que me considero afortunada de no haber sido descubierta. No pasé hambre, sólo miedo. Siempre tenía miedo”¹⁹.

Sally Perel por su parte era un judío alemán de ascendencia rusa que fue capturado tras la invasión a la Unión Soviética. Ocultó que era judío y se inventó una identidad, y gracias a eso consiguió un puesto como intérprete de ruso, ya que conocía perfectamente tanto esta lengua como el alemán, y tras eso entró como aprendiz en la fábrica de Volkswagen donde convivió con trabajadores forzados. Pese a la seguridad que le otorgaba ser de descendientes alemanes, el miedo a que descubriesen que era judío siempre estuvo ahí:

“El miedo aún estaba allí, principalmente de noche. Por el día estaba distraído, estaba en la escuela con otros aprendices, cantaba o marchaba, siempre estaba ocupado, siempre tenía que hacer trabajo

¹⁸ Moshe Shen et al., *Surviving in fear* (Volkswagen Aktiengesellschaft Corporate History Department, 2005), 27.

¹⁹ Ibid, 62.

escolar o técnico. Tenía que hacer todo a toda velocidad, no tenía tiempo para pensar y eso fue lo que me permitió enviar el miedo al fondo de mi mente. Pero los recuerdos venían con fuerza por la noche. Lloraba por la noche por el miedo”²⁰.

Prácticamente todos los presos tanto de Auschwitz como de cualquier otro campo de concentración nazi tuvo que vivir bajo un constante miedo, que provocó secuelas psicológicas de distinta gravedad entre los supervivientes²¹.

En la iniciativa AMCHA (“tu gente” en idioma hebreo), una organización para combatir el antisemitismo en los Estados Unidos, identificaron los principales trastornos mentales presentes en los supervivientes del holocausto²²:

- Insensibilidad, amnesia, alexitimia.
- Recuerdos intrusivos relacionados con el holocausto.
- Anhedonia, pensamientos suicidas, depresión.
- Sentimientos de culpabilidad por sobrevivir.
- Pesadillas y trastornos del sueño.
- Problemas de control de la ira.
- Ansiedad, pesimismo, preocupaciones excesivas.
- Paranoia, falta de confianza, soledad.
- Uso de estrategias de supervivencia.
- Baja tolerancia a situaciones difíciles o de estrés.

Normalmente los supervivientes del Holocausto sufrían ataques de pánico cuando se exponían a factores que les recordaban al horror sufrido en los campos de concentración, tales como trenes atestados, estaciones de

²⁰ Ibid, 82.

²¹ Robert Krell, *Medical and Psychological Effects of Concentration Camps on Holocaust Survivors* (Routledge, 1997), 11.

²² Nathan P.F. Kellermann, “The long-term psychological effects and treatment of holocaust trauma”, *Journal of Loss and Trauma* 6, 197-218.

tren, exámenes médicos, duchas, alambre de púas, perros ladrando, hacer fila, escuchar el idioma alemán, etc...²³

Para saber de qué manera puede trasladarse una fracción del miedo que sufrieron los presos de Auschwitz al usuario de una experiencia de realidad virtual, es necesario hacer un estudio sobre las emociones y como inducirlas sobre el espectador.

4.2 Emociones

4.2.1 ¿QUÉ SON LAS EMOCIONES?

Para empezar esta sección, primeramente, cabe definir qué son las emociones. En la literatura podemos encontrar gran cantidad de definiciones sobre qué son las emociones, pero según el diccionario de la Real Academia de la lengua española, una emoción es *“la alteración del ánimo intensa y pasajera, agradable o penosa, que va acompañada de cierta conmoción somática”*²⁴. Por su parte, el investigador en neurociencia Michel Cabanac afirma que *“la emoción es cualquier experiencia mental de alta intensidad y alto contenido hedonista”*²⁵.

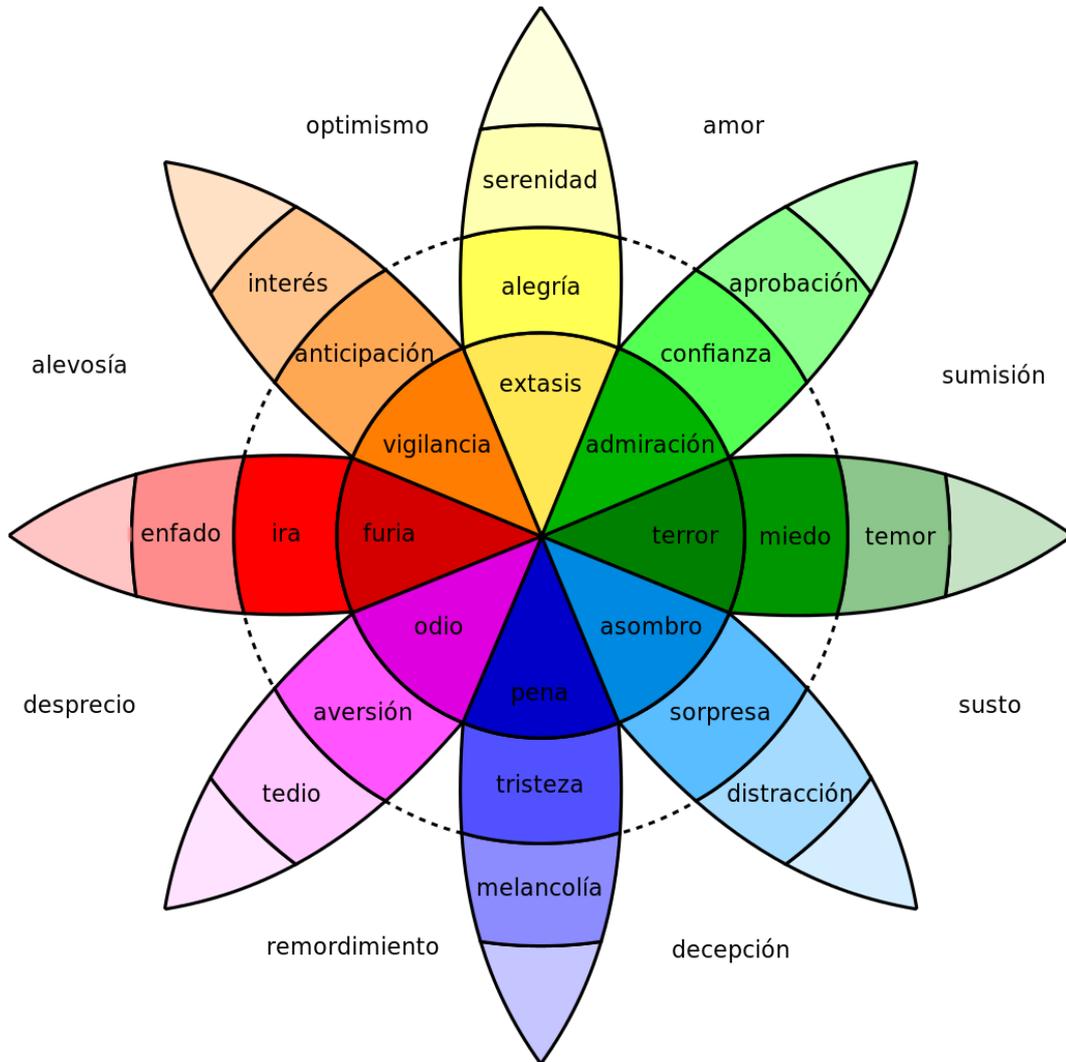
Podemos deducir pues, que las emociones son experiencias subjetivas que van asociadas a una actividad psicológica concreta. Pero ¿Cuántos tipos de emociones hay? ¿Cómo se clasifican? Robert Plutchik clasifica las emociones en emociones primarias y emociones complejas²⁶, las cuales

²³ Ibid.

²⁴ Diccionario de la Real Academia de la lengua española. Ed. 2018, s.v. “emoción”.

²⁵ Michael Cabanac, “What is emotion?”, Behavioural Processes 60, 70.

²⁶ Robert Plutchik, *Emotion. Theory, research and experience* (Academic Press, 1980), 326.



4. Rueda de las emociones de Plutchik

distribuyó en una rueda ordenándolas por intensidad y por oposición: Como se puede apreciar en la Ilustración 4, hay 8 emociones básicas de las que emanan todas las demás. Por ejemplo, la emoción del miedo, en su forma más intensa se presenta como terror, y en su forma más leve se presenta como temor. A su vez, la emoción opuesta al miedo es la ira, que también tiene sus propios niveles de intensidad. La combinación de dos de estas emociones básicas forma una emoción compleja, por ejemplo, la suma de la ira y la aversión conducen al desprecio.

4.2.2 PROCEDIMIENTOS DE INDUCCIÓN DEL ESTADO DE ÁNIMO

Una vez visto qué son las emociones y como pueden clasificarse, es necesario saber de qué formas se puede inducir sobre una persona un estado de ánimo concreto. Para ello existen los procedimientos de inducción del estado de ánimo, que sirven para provocar en un individuo un estado emocional transitorio en una situación no natural, de forma controlada.²⁷

Hay distintas técnicas para inducir el estado de ánimo deseado, de las cuales se exponen a continuación las descritas por Kučera y Haviger²⁸ en procedimientos de investigación psicológica:

- Muestra de material audiovisual con impacto emocional, como por ejemplo fotografías, películas, música...
- Técnicas de estimulación de la imaginación para reactivar experiencias emocionales sucedidas en el pasado.
- Interacciones predefinidas, usando por lo general software o videojuegos.
- Mediante expresiones faciales.
- Administración de drogas y compuestos químicos.
- Interacción mediante situaciones reales.

Para este trabajo se ha optado por usar una combinación entre la muestra de material audiovisual y el uso de interacciones predefinidas mediante software, creando una experiencia de realidad virtual.

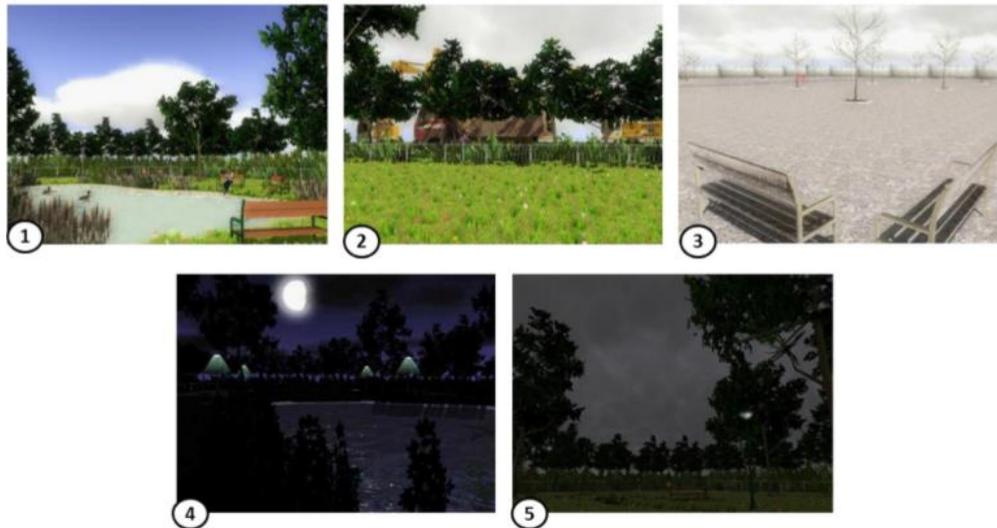
A lo largo de las dos primeras décadas del siglo XXI se han realizado diversos estudios de inducción de estados de ánimo mediante el uso de la realidad virtual (Baños et al., 2004, 2008, 2012) utilizando para ello distintos entornos tales como parques o casas. En el caso del escenario virtual del parque (Baños et al., 2006), se producían cambios en el entorno

²⁷ Azucena García-Palacios y Rosa M. Baños, "Eficacia de dos procedimientos de inducción del estado de ánimo e influencia de las variables moduladoras", *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica* Vol. 4 n.1, 16.

²⁸ Dalibor Kučera y Jiří Haviger, "Using mood induction procedures in psychological research", *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 69, 31-40.

dependiendo del estado de ánimo que se quería inducir al usuario, más concretamente se cambiaba el tono, brillo y dirección de la luz solar. Además, se escuchaba una música y una voz narra una historia de acuerdo al estado emocional que se quiere inducir²⁹. Según los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión de que este método era efectivo para inducir las emociones de felicidad y de tristeza³⁰.

Anna Felnhofer realizó una variante de este experimento en su estudio (Felnhofer et al., 2015) creando cinco parques virtuales, cada uno con el objetivo de crear un estado de ánimo distinto en el usuario: Alegría, enfado, aburrimiento, ansiedad y tristeza.



5. Capturas de pantalla de los cinco parques virtuales. 1: Alegría. 2: Enfado. 3: Aburrimiento. 4: Ansiedad. 5: Tristeza.

Los resultados mostraron un alto porcentaje de éxito en la inducción de estados de ánimo sobre los usuarios, tan sólo el escenario enfocado en provocar tristeza no cumplió su objetivo, siendo que los niveles de tristeza

²⁹ Rosa M. Baños et al., "Changing induced moods via virtual reality", *CyberPsychology & Behavior* 7 (2006): 10.

³⁰ Ibid. 12.

fueron mayores en el escenario orientado al aburrimiento, que en el destinado para ese fin³¹.

4.3 Inmersión y presencia

4.3.1 INMERSIÓN

Al hablar del término inmersión, nos referimos al nivel objetivo de fidelidad sensorial del entorno virtual en el que se encuentra el usuario, dependiendo del sistema utilizado para su representación (pantalla de televisión, proyección en una cúpula, casco de realidad virtual) y del realismo gráfico o sonoro como elementos principales, pero también a la inclusión de sistemas olfativos, de tacto, temperatura, viento, etc... El nivel de inmersión en el que se encuentre el usuario determinará la sensación de presencia, que es la sensación de “estar ahí”³².

Centrándonos en un sistema de realidad virtual, la inmersión depende en gran parte de las siguientes características³³:

- El número de fuentes sensoriales de las que dispone el sistema de realidad virtual (sistema visual, sonoro, respuesta física, etc...).
- Congruencia sensorial (correcta representación visual correspondiente entre los movimientos del usuario, correlación entre imagen y sonido, interactividad en tiempo real).
- Entorno envolvente (campo de visión semejante al real, audio espacializado, entorno de 360°)

³¹ Anna Felhofer et al. “Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios”. *Int. J. Human-Computer Studies* 82 (2016): 52.

³² Daniel R. Mestre, “Inmersion and presence”, *Le traîné de la réalité virtuelle* (2006): 310.

³³ Jason Jerald, *The VR Book. Human-Centered design for virtual reality* (ACM Books, 2016), 45.

- Calidad visual (resolución gráfica, imágenes por segundo, calidad de sonido)
- Interactividad, es la capacidad del usuario de realizar cambios en el entorno y recibir las respuestas a sus acciones.
- Argumento, es la representación de una serie de eventos por las que se mueve el usuario.

Por tanto, la inmersión es la tecnología que tiene el potencial de involucrar al usuario con el entorno, pero no es la única herramienta necesaria para que la mente del usuario tenga la sensación de estar dentro del escenario, para ello es necesario imbuirle la sensación de presencia³⁴.

4.3.2 PRESENCIA

A diferencia de la inmersión, que consiste en los medios técnicos que se utilizan para hacer que el usuario se sienta dentro de un entorno, la presencia solo es cuantificable de manera subjetiva por el usuario que la experimenta³⁵.

Hay distintas definiciones y teorías propuestas acerca de qué es la presencia, M. Lombard y T. Ditton³⁶ identifican seis descripciones distintas que han sido usadas en la literatura para definir qué es la presencia:

³⁴ Ibid. 46.

³⁵ Mel Slater, "Measuring Presence: a response to the Witmer and Singer presence questionnaire", *Presence: Virtual and Augmented Reality*, 8 (1999): 561.

³⁶ Matthew Lombard y Theresa Ditton, "At the heart of it all: The concept of presence", *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3 (2006).

- Presencia como riqueza social: Es la medida en la que el medio se percibe como sociable, cálido, acogedor o cómodo cuando se interactúa con otras personas.

- Presencia como realismo: Es la medida en la que un medio puede parecer perceptivo o realista socialmente hablando.

- Presencia como situación: Son las sensaciones de “estar ahí”, “eso está ahí”, “estamos aquí”, etc...

- Presencia como inmersión: Es la medida en la que los sentidos perciben el entorno.

- Presencia como actor social: Es la medida en la que el usuario reacciona a la representación de una persona en el medio.

- Presencia como medio como actor social: Es la medida en la que el propio medio se percibe como un actor social, como por ejemplo tratar una inteligencia artificial como una entidad social.

En cambio, David Schloerb tan sólo distingue entre dos tipos de presencia³⁷:

- Presencia subjetiva: Es el usuario el que considera en qué nivel de inmersión se encuentra.

- Presencia objetiva: Schloerb considera que el usuario se encuentra objetivamente presente en el entorno cuando es capaz de realizar una tarea específica dentro de él.

Cuando nos referimos a la realidad virtual, el término presencia se refiere a la respuesta psicológica subjetiva del usuario que proporciona la sensación de “estar ahí”, independientemente del grado de inmersión proporcionado por el entorno virtual. Cada usuario puede experimentar un nivel distinto de presencia con el mismo nivel de inmersión, e incluso un

³⁷ David Schloerb, “A Quantitative Measure of Telepresence. Presence.” *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 4 (1995): 64-80.

mismo usuario puede experimentar distintos niveles de presencia con el mismo sistema de inmersión dependiendo de su estado mental, entre otros factores.

Cuando el sentido de presencia es total, el usuario no percibe la tecnología utilizada, sino que percibe los objetos, los personajes y los eventos sucedidos durante la experiencia virtual como reales.

Según Teo Choong Ching, la sensación de presencia en entornos virtuales está compuesta por cuatro componentes³⁸:

- La ilusión de mantenerse estable en un espacio: La ilusión de estar físicamente en un espacio es el elemento más importante de la presencia. Se consigue cuando el usuario percibe el entorno y los objetos en él, como si fuesen del mundo real. Técnicamente hablando, este estado de ilusión puede lograrse con una baja latencia, alta frecuencia de imagen y una buena calibración del dispositivo.

- La ilusión de autoencarnación: El ser humano está permanentemente consciente de su propio cuerpo, pero en la realidad virtual no es fácil conseguir esta sensación. En la gran mayoría de juegos y experiencias, el usuario no puede ver su cuerpo virtual. Para lograr esta ilusión no es necesario que se recree el cuerpo del usuario, pero debe estar relacionado con el personaje que se está encarnando.

- La ilusión de interacción física: Para lograr una buena sensación de presencia en un entorno virtual, no es suficiente tan sólo poder desplazarse por él, es necesario implementar un sistema de interacción con los objetos presentes en el entorno, que además disponga de retroalimentación hacia el usuario, como puede ser respuesta de imagen, de sonido, o háptica.

- La ilusión de la comunicación social: En la realidad virtual, la presencia social consiste en comunicación tanto verbal como corporal con los otros

³⁸ Teo Choong Ching, "The concept or presence in Virtual Reality", Medium, <https://medium.com/@choongchingteo/the-concept-of-presence-in-virtual-reality-6d4332dc1a9c> (Consultada el día 21 de Junio de 2019).

usuarios virtuales, representados por un avatar, que pueden ser reales o generados por ordenador, como por ejemplo en juegos multijugador en los que el usuario tiene que interactuar con otros personajes con los que debe conversar mediante un sistema de respuestas predefinidas.

Por tanto, se puede concluir que la presencia se genera a través de la combinación entre la inmersión y la percepción subjetiva del usuario respecto al entorno virtual en el que se encuentra.

4.4 Cronología de la realidad virtual

4.4.1 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS ENTORNOS 3D PARA REALIDAD VIRTUAL

En 1935 Stanley Weinbaum publicó la historia de ciencia ficción *Pygmalion's Spectacles*, en la que el protagonista utiliza unas gafas que lo transportan a un mundo ficticio que estimula sus sentidos utilizando holografías. Esta historia de ficción se considera el origen del concepto de realidad virtual³⁹.



6. Dispositivo Sensorama

El primer dispositivo tecnológico para el desarrollo de una realidad virtual primitiva data de 1956, año en el que el cinematógrafo Morton Heilig creó el Sensorama, una gran cabina que combinaba vídeo estereográfico a color, sonido, olor y efectos atmosféricos para la cual se produjeron tan solo seis películas.

³⁹ José Luis Rubio, "Realidad virtual, MSID, narrativa emergente y UX: Sus potencialidades en educación.", Technos Magazine, <http://technomagazine.com.ar/observatorio.html> (Consultada el día 9 de Septiembre de 2019).

En 1965, Ivan Sutherland, ingeniero informático, presentó lo que era su visión de la *pantalla definitiva*. Su concepto consistía en un mundo virtual visto a través de un casco de realidad virtual que replicaría tan fielmente la realidad que el usuario no podría diferenciarlo de la realidad. Según Sutherland:

"El sistema definitivo consistiría en una habitación dentro de la cual el ordenador puede controlar la existencia de la materia. Una silla que se exhiba en una sala de este tipo sería lo suficientemente real para sentarse. Las esposas que se exhiben en una sala de este tipo serían funcionales, y una bala que se exhiba en una sala de este tipo sería letal. Con la programación apropiada, tal dispositivo podría ser literalmente el País de las Maravillas en el que Alicia caminó"⁴⁰.

Tres años más tarde, en 1968, Sutherland presentó junto a su alumno Bob Sproull el primer casco de realidad virtual, llamado *La espada de Damocles*. Este casco se conectaba a un ordenador que sólo podía renderizar geometrías simples y mostrarlas en modo alambre. Estos modelos 3D cambiaban de perspectiva cuando el usuario movía su cabeza gracias al sistema de seguimiento. El nombre de este dispositivo se debe a que era tan tosco y pesado que tenía que estar suspendido del techo.



7. La espada de Damocles

En los años 70 y 80, la industria militar se interesó por estos nuevos dispositivos y sus posibilidades para desarrollar nuevas técnicas de entrenamiento para los pilotos de aviación. En 1979 la compañía McDonnell-Douglas integró la realidad virtual en su casco, al que

⁴⁰ Ivan E. Sutherland, "The ultimate display", Proceedings of IFIP Congress (1965), pp. 506-508.

añadió un sistema de seguimiento ocular para que la vista del piloto coincidiera con las imágenes generadas por el ordenador.

En 1991 aparecen por primera vez sistemas lúdicos mediante realidad virtual. La empresa Virtuality Group Arcade Machines distribuyó máquinas recreativas con cascos de realidad virtual en Estados Unidos, y Sega anunciaba el desarrollo de un accesorio para su Sega Megadrive para llevar la realidad virtual al ámbito doméstico, aunque nunca llegó a ver la luz. En 1995 Nintendo lanzó al mercado la primera consola con realidad virtual doméstica, la Virtual Boy, siendo descatalogada tan sólo 1 año después debido a su escaso éxito.

En 1997, investigadores de la Georgia Tech and Emory University, utilizan la realidad virtual para la creación de un escenario inmersivo cuyo objetivo es el tratamiento psicoterapéutico de soldados y ex-soldados diagnosticados con síndrome de estrés post-traumático⁴¹.

En el año 2010, Palmer Luckey con tan sólo 18 años fabrica el primer prototipo de los cascos Oculus Rift, un casco de realidad virtual asequible para uso tanto doméstico como profesional, y desde entonces distintas compañías han desarrollado sus sistemas de realidad virtual para el gran público.

4.4.2 USOS DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad, la realidad virtual se usa en muchos ámbitos tales como el entrenamiento militar, donde pueden simular entornos concretos con enfrentamientos en los que no hay riesgo de muerte o lesiones⁴². En el campo de la salud se está investigando en las posibilidades de uso de la

⁴¹ Barbara Rothbaum et. al. "Virtual Reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder", J Clin Psychiatry 62 (2001) pp. 617-622.

⁴² "Virtual Reality in the Military", Virtual Reality Society, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-military/> (Consultada el día 17 de Junio de 2019).

realidad virtual para la realización de cirugías de forma remota, unido a una conexión a internet de baja latencia y un sistema de respuesta de fuerza para que el cirujano tenga una sensación lo más aproximada posible al de una cirugía real⁴³.

También en el campo de la salud mental se aplican tratamientos mediante realidad virtual. Por ejemplo, se utiliza en sustitución de las terapias cognitivo-conductuales. En una terapia cognitivo-conductual, el paciente debe mantener una conversación cara a cara con el terapeuta o con más pacientes en una terapia en grupo. En una terapia cognitivo-conductual virtual, esta conversación se sustituye por una interfaz informática. Este tratamiento es adecuado para aquellas personas que se sienten incómodas al hablar de su condición con otras personas pero que encuentran más fácil hacerlo en un entorno virtual. También está demostrando ser eficaz en el tratamiento de las fobias. Las fobias pueden desembocar en reacciones extremas, generalmente en forma de ataque de ansiedad o pánico, a una situación en particular que a normalmente está fuera de proporción con la amenaza que representa. En algunos casos su reacción es tan extrema que dificulta tener una vida normal a la persona que la sufre.⁴⁴

La psicoterapia para tratar el síndrome de estrés postraumático ha adoptado también la realidad virtual como herramienta para mitigar los efectos de este trastorno. En esta terapia, el usuario es expuesto a entornos similares a los que provocaron esta alteración mental, y esta exposición junto a un tratamiento para mejorar las habilidades de relajación y una monitorización del estado psicológico y fisiológico, provoca que con el tiempo el paciente disminuya sus niveles de estrés y ansiedad⁴⁵.

⁴³ “Virtual Reality healthcare”, Virtual Reality Society, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/> (Consultada el día 17 de Junio de 2019).

⁴⁴ “Virtual Reality in phobia treatment”, Virtual Reality Society, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/phobia-treatment.html> (Consultada el día 17 de Junio de 2019).

⁴⁵ “Virtual reality treatment for Post Traumatic Stress Disorder”, Virtual Reality Society, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/ptsd.html> (Consultada el día 17 de Junio de 2019).

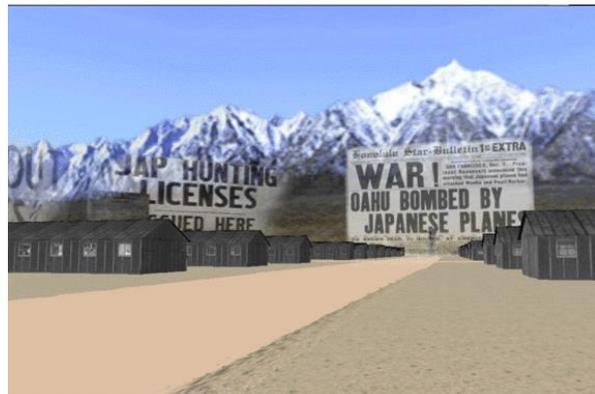
Los problemas de déficit de atención también se pueden mejorar con la ayuda de terapias mediante realidad virtual. Por ejemplo, en los Estados Unidos se desarrolló un tratamiento cuyo objetivo era mejorar la atención de los niños autistas. El niño lleva un casco de realidad virtual que muestra imágenes de un aula escolar. Esta clase contiene un conjunto de personas modeladas en 3D que realizan una presentación individual, pero cada uno de estos avatares comienza a desvanecerse si el niño mira hacia otro lado o pierde el interés⁴⁶.

4.5 Referentes

A continuación, se exponen distintos referentes tanto artísticos como científicos que han tratado bien el tema del holocausto o bien la cuestión de la generación de emociones mediante entornos virtuales.

- Tamiko Thiel - *Beyond Manzanar* (2000):

Beyond Manzanar es una experiencia en realidad virtual que permite recorrer el campo de concentración de Manzanar, situado en los Estados Unidos de América, donde fueron internados más de 110.000 estadounidenses de ascendencia japonesa⁴⁷. A



8. *Beyond Manzanar* - Tamiko Thiel

medida que se explora el campamento, se produce un impacto emocional en el usuario. Encerrado en el campo y con la imposibilidad de salir, no queda

⁴⁶ "Virtual reality treatment for autism", Virtual Reality Society, <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/autism-treatment.html> (Consultada el día 17 de Junio de 2019).

⁴⁷ R. Daniels, "Incarceration of the Japanese Americans: A Sixty-Year Perspective", *The History Teacher*, <https://web.archive.org/web/20021229161025/http://www.historycooperative.org/journals/ht/35.3/daniels.html> (Consultada el día 31 de Julio de 2019).

más remedio que ir hacia adentro hasta el centro del campo donde se encuentra una representación de un jardín clásico japonés.

- Char Davies – *Osmose* (1995):

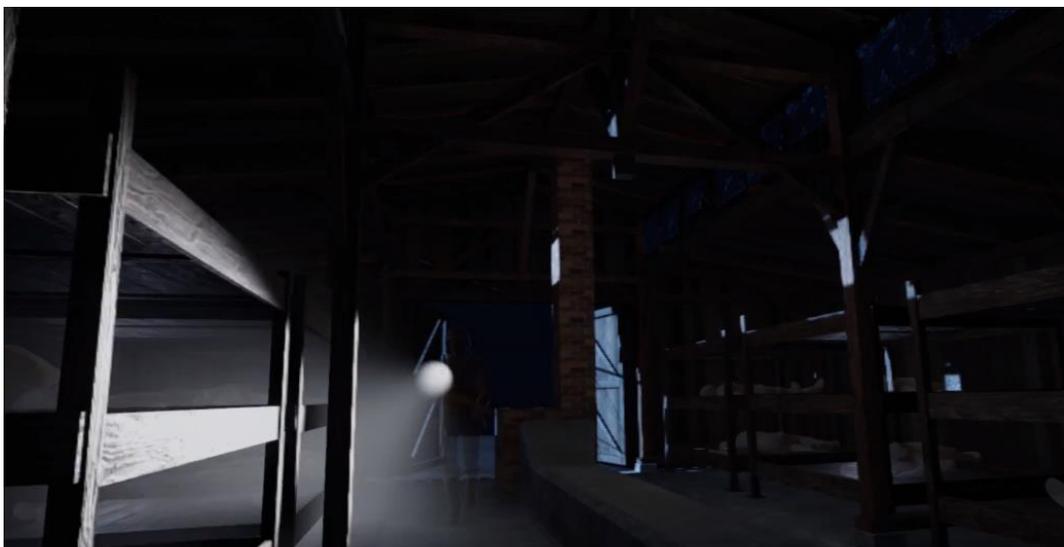
Osmose es una instalación inmersiva virtual interactiva, que utiliza un casco de realidad virtual y un sistema de movimiento en el que el espectador puede trasladarse por el entorno mediante el uso de su propia respiración y equilibrio. Al respirar, el usuario puede flotar hacia arriba, al exhalar cae, y puede alterar el centro de equilibrio del cuerpo para cambiar de dirección. *Osmose* es un espacio para explorar la interacción perceptiva entre uno mismo y el entorno, formado por gráficos semi-abstractos.



9. *Osmose* - Char Davies

- Stitchbridge – *Journey through the camps* (2018)

Journey through the camps es una experiencia para realidad virtual desarrollada por el estudio Stitchbridge en colaboración con la Universidad



10. *Journey through the Camps* - Stitchbridge

Carnegie Mellon. Al igual que este trabajo, consiste en un recorrido por distintas estancias del campo de concentración de Auschwitz, en el que se ha contado con testimonios de los supervivientes para hacer de esta experiencia una forma de enseñar historia.

- *Virtual reality in the treatment of generalized anxiety disorders* - Alessandra Gorini, Federica Pallavacini, Davide Algeri, Claudia Repetto, Andrea Gaggoli, Giuseppe Riva (2010)

Esta no es una obra, sino una investigación sobre el uso de los dispositivos de bio-feedback aplicados al control de un entorno virtual para el tratamiento de trastornos de ansiedad generalizada. En este estudio se usa un sensor de respuesta galvánica de la piel⁴⁸ en combinación con un sensor de pulso. Según el estado de tensión del usuario, cambian elementos en el escenario como por ejemplo la intensidad del fuego en una fogata, el movimiento de las olas en una playa o la cantidad de agua que cae desde una catarata.



11. Captura de imagen del escenario.

5. DESARROLLO PRÁCTICO

Para llevar a cabo este ejercicio de inducción de estado de ánimo mediante realidad virtual, se ha optado por la creación de un escenario en el motor para videojuegos Unreal Engine que replica parte del campo de concentración de Auschwitz-Birkenau. Pese que en el grado de Bellas Artes

⁴⁸ La función de este dispositivo se describe en la sección de sensores para bio-feedback, en la página 62.

y en el Máster en Artes Visuales y Multimedia se imparten asignaturas de creación de videojuegos mediante el motor Unity, se ha optado usar Unreal Engine debido a que la creación e implementación de gráficos es más rápida, fácil, y con mejores resultados que en Unity, pese a que este último resulta más fácil en cuanto a la programación.

5.1 Elección del escenario

Auschwitz-Birkenau, también conocido como el campo de concentración Auschwitz II, es uno de los tres campos de concentración que construyó la Alemania nazi en las cercanías de la ciudad de Auschwitz, a 70 kilómetros de Cracovia, en Polonia.

El campo de Auschwitz-Birkenau era el más grande de los tres, con 175 hectáreas de tamaño, delimitado por alambre de espino y vallas electrificadas, y fue diseñado expresamente para el exterminio de los prisioneros, contando para ello con cinco cámaras de gas y hornos crematorios con una capacidad de incineración de 2.500 personas al día.

Como se ha explicado al principio de este trabajo, los prisioneros llegados al campo, en su mayoría judíos, eran segregados entre los que eran aptos para trabajar, y los que no lo eran, en su mayoría ancianos, mujeres y niños, que eran dirigidos a las cámaras de gas bajo el engaño de que iban a recibir una ducha. Tras desnudarse e introducirse en las cámaras de gas, los ejecutores dejaban caer piedras impregnadas de gas Zyklon-B. Tras 20 minutos, todos los prisioneros fallecían y se les retiraba cualquier objeto de valor antes de incinerar los cadáveres en los hornos crematorios. Los prisioneros que no eran enviados a la cámara de gas para su ejecución, eran trasladados a barracones y sometidos a cuarentena antes de ser enviados a campos de trabajo como mano de obra esclava, hasta que fallecían por enfermedad, malnutrición o ejecutados.

Se ha optado por una recreación de este campo de concentración por la necesidad de inducir sentimientos de angustia y tristeza en el usuario, y el

fuerte componente emocional que rodea al holocausto hace que sea una opción universal para conseguir esta tarea.

5.2 Diseño de la experiencia

Esta experiencia interactiva se desarrolla dentro de un escenario 3D que puede recorrerse libremente, pero es necesario guiar al usuario de forma sutil para que realice el recorrido deseado por el escenario y pueda completar esta experiencia. Por tanto, se ha abordado el diseño de esta experiencia desde la perspectiva de la creación de un nivel de videojuego 3D en primera persona.

Según Tim Willits, diseñador de niveles de ID Software, un escenario de estas características requiere de un desarrollo lineal y debe guiar al jugador a través del nivel por medio del diseño de la arquitectura y de los diferentes elementos del juego⁴⁹.

Por otra parte, es necesario que la inmersión dentro del entorno sea la adecuada para que el usuario no encuentre incongruencias y pierda la sensación de “estar ahí”. Ya que los escenarios en primera persona se basan sobretodo en el sentido de la inmersión, el principal deber que tiene el diseñador es meter al jugador “dentro” del escenario. Según Willits:

“Un diseñador debe hacer que el juego tenga la apariencia que el jugador espera. Si el diseñador llama a un mapa “almacén”, entonces debe poner allí algunas cajas de embalaje; pues el jugador espera encontrarlas. El diseñador también debe hacer que el diseño del nivel encaje con el resto de ese mundo. No hay que mezclar periodos históricos si no se viaja en el tiempo, ni mezclar materiales de construcción de periodos históricos distintos. Por ejemplo, no construyas un primer mapa lleno de láminas de metal para hacer luego

⁴⁹ Marc Saltzman, *Cómo diseñar videojuegos* (Norma Editorial, 2001), 115.

*un segundo mapa de ladrillo y estuco. Los jugadores quieren coherencia; la necesitan porque ésta les rodea todos los días*⁵⁰.

5.2.2 DISEÑO DEL ESCENARIO

Para la creación de este escenario ha sido necesaria la búsqueda de toda clase de imágenes de referencia del campo de concentración Auschwitz-Birkenau, en especial fotografías tomadas tras la liberación del campo en 1944 por parte de los soviéticos. Lamentablemente la cantidad de



12. Barracones de prisioneros en Auschwitz

fotografías tras el momento de la liberación es realmente limitada, por lo que también ha habido que apoyarse en imágenes actuales de los campos de concentración.

De la misma forma, indicamos que no es necesario reproducir virtualmente el campo de concentración en su totalidad, ya que para esta experiencia solo se realizará un breve recorrido por las siguientes estancias:

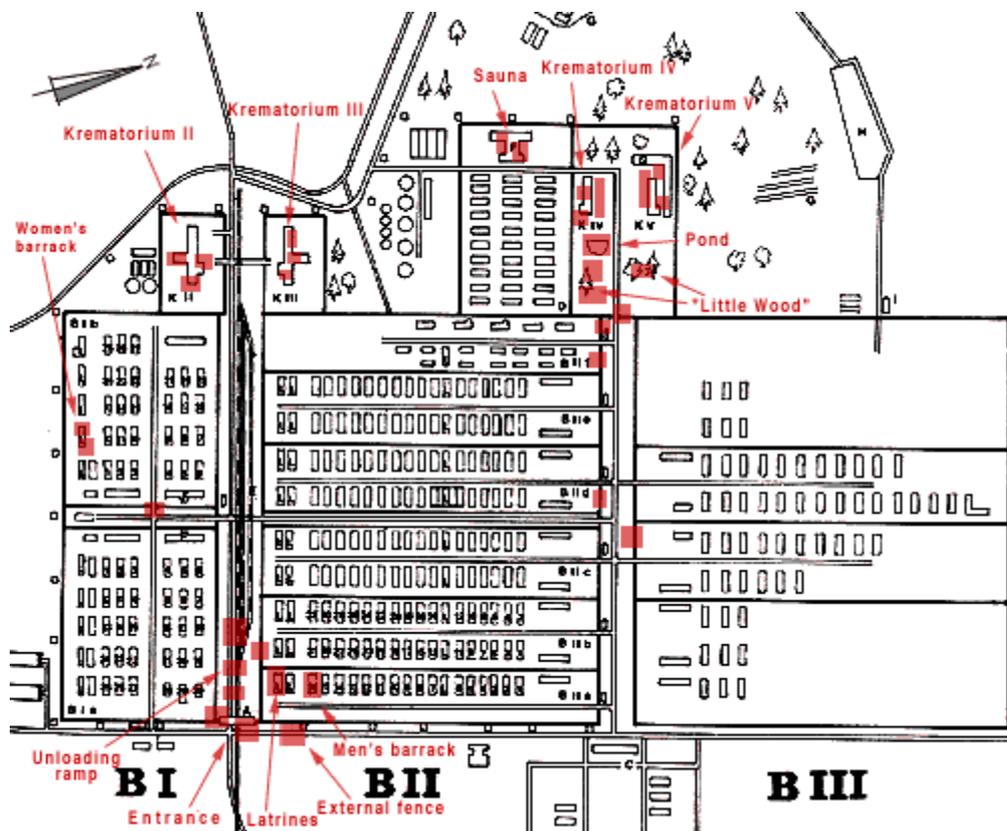
⁵⁰ Ibid, 117.

5.2.1.1 Barracones

La experiencia empieza con el usuario dentro de uno de los barracones del campo de concentración. Los barracones de madera de Auschwitz-Birkenau estaban situados en los segmentos BI, BII y BIII del campo de concentración. Las entradas a estos barracones consistían en dos portones de madera a ambos extremos de la edificación. A diferencia de los barracones de ladrillo, estos no disponían de ventanas, sino que tenían unas entradas para la luz solar en la parte superior del tejado. Disponían de dos



13. Interior de un barracón



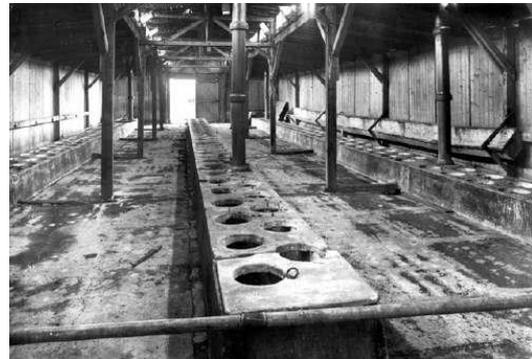
chimeneas y un pequeño canal de calefacción hecho de ladrillos para calentar el barracón en invierno, aunque era insuficiente para el tamaño de

14. Plano de los sectores BI, BII y BIII de Auschwitz-Birkenau

la estancia. El interior estaba dividido en 18 literas de madera dispuestas en dos filas que alojaban a más de 400 prisioneros. El usuario es libre de recorrer el barracón y observar desde cualquier ángulo los distintos elementos que conforman el barracón. Puede interactuar con distintos elementos ligeros agarrándolos y soltándolos a voluntad ya que integran físicas realistas. El usuario se encuentra con una de las puertas semi-abierta y puede empujarla para abrirla y poder acceder a la zona exterior del campo de concentración.

5.2.1.2 Letrinas

En el sector BI se instalaron cuatro barracones cuyo interior contenía 3 desagües de hormigón con 58 letrinas cada uno, con tapas de hormigón circulares para su cierre. No había ningún tipo de privacidad y las malas condiciones de higiene a menudo provocaban tifus y diarrea⁵¹.



15. Letrinas del campo de concentración de Auschwitz

5.2.1.3 Cámara de gas y crematorio

En el campo de concentración de Auschwitz-Birkenau se edificaron cinco crematorios, que contenían en su interior una estancia conocida como cámara de gas, y distintos hornos crematorios para incinerar los



16. Hornos de los crematorios II y III

⁵¹ Remember.org “Birkenau Quarantine Latrines”, <http://remember.org/camps/birkenau/bir-latrines-02> (consultada el 9 de Junio de 2019).

cadáveres de los prisioneros fallecidos tanto a causa de los efectos del gas, como los que morían debido al trabajo forzado o a las malas condiciones de vida en el campo. Para el escenario se han tomado como referencia los crematorios II y III, cuya edificación era idéntica pero simétrica uno de otro. Cada uno de estos crematorios estaba conformado por las siguientes estancias:

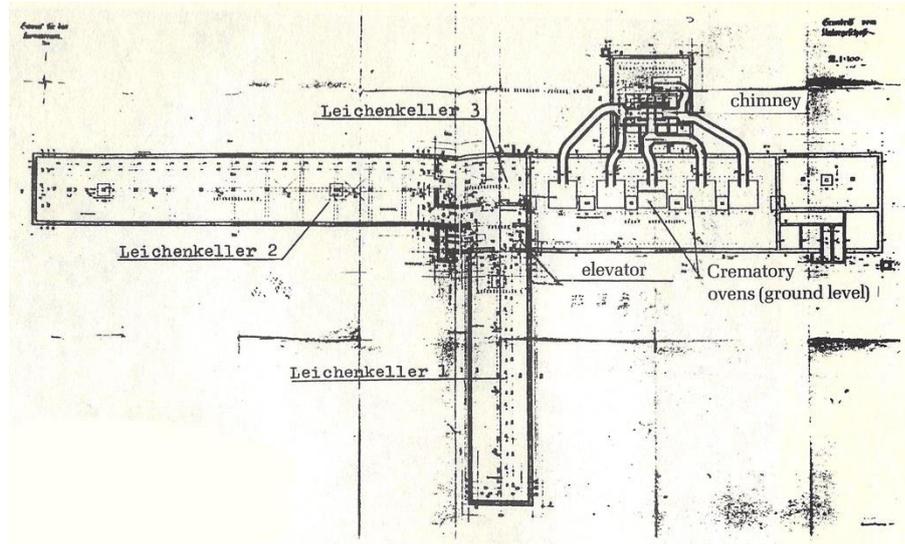
- Sala de cremación: En esta sala se situaban cinco hornos crematorios con tres hornos de mufla cada uno.

- Salas anexas: A un lateral del edificio se encontraba una oficina, la vivienda del oficial al mando del crematorio, y las viviendas de los encargados de extraer los dientes de oro de los cadáveres. En un área adyacente se encontraba la chimenea y las tomas de aire para el correcto funcionamiento de los hornos.

- Morgues subterráneas: Estos edificios albergaban tres morgues subterráneas, una de las cuales tenía la función de cámara de gas. También tenían una sala para desvestirse, donde convencían a los presos recién llegados de que debían recibir una ducha antes de dirigirse a los barracones y los campos de trabajo. Cuando los presos entraban en la cámara de gas, se bloqueaban las puertas y estos morían debido a los efectos del gas Zyklon-B⁵².

Para el modelado de los crematorios no se ha respetado la localización real de las estancias para permitir una experiencia más rápida y fluida, así que consta la estancia de los vestidores, la sala de cremación, el despacho del oficial al mando y una morgue subterránea con cámara de gas, obviando el resto de las morgues, las oficinas y estancias de los oficiales.

⁵² Memorial and Museum Auschwitz-Birkenau, "The extermination procedure in the gas chambers", <http://auschwitz.org/en/history/auschwitz-and-shoah/the-extermination-procedure-in-the-gas-chambers/> (consultada el 9 de Junio de 2019)



17. Plano del crematorio II de Auschwitz-Birkenau

5.3 Modelado y texturizado

5.3.1 MODELADO DE OBJETOS Y EDIFICIOS

El modelado de los elementos presentes en el entorno virtual ha sido realizado con el software Blender, un programa de creación de gráficos tridimensionales que destaca por su velocidad y sencillez de uso. A continuación, se muestra detalladamente el proceso seguido para la creación de un *prop*, o elemento del escenario, en este caso una palangana de metal.

5.3.1.2 Modelado de un objeto

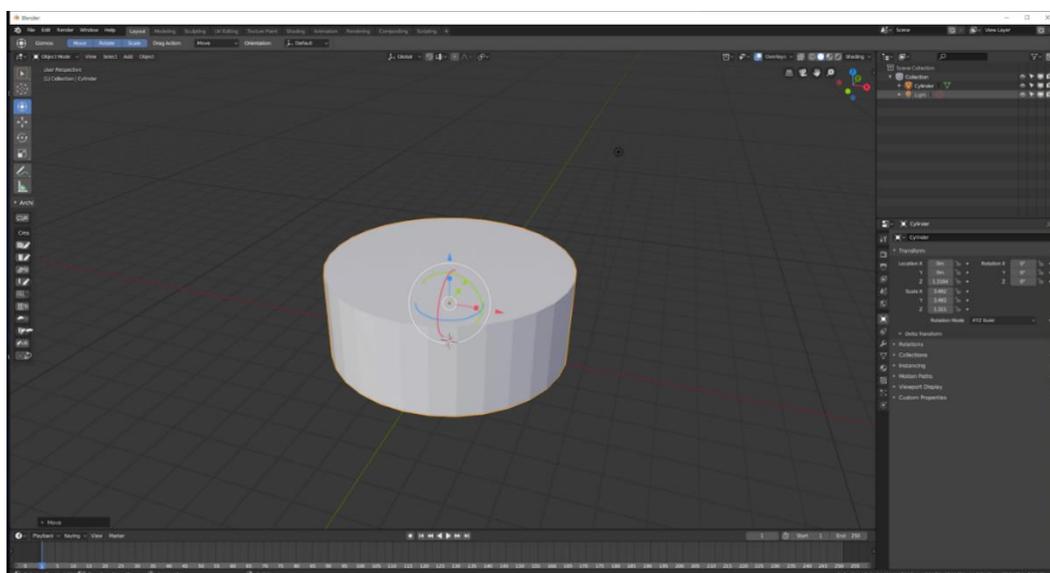
Para empezar a modelar un objeto, es recomendable partir de una o varias imágenes de referencia para facilitar el modelado y que este resulte lo más similar posible al original.



14. Imagen de referencia del objeto a modelar

Para un objeto de naturaleza cilíndrica tal como lo es esta palangana, lo más adecuado es utilizar el método de modelado por subdivisión, partiendo de un cilindro como forma base, y darle la forma deseada mediante extrusiones e inserciones.

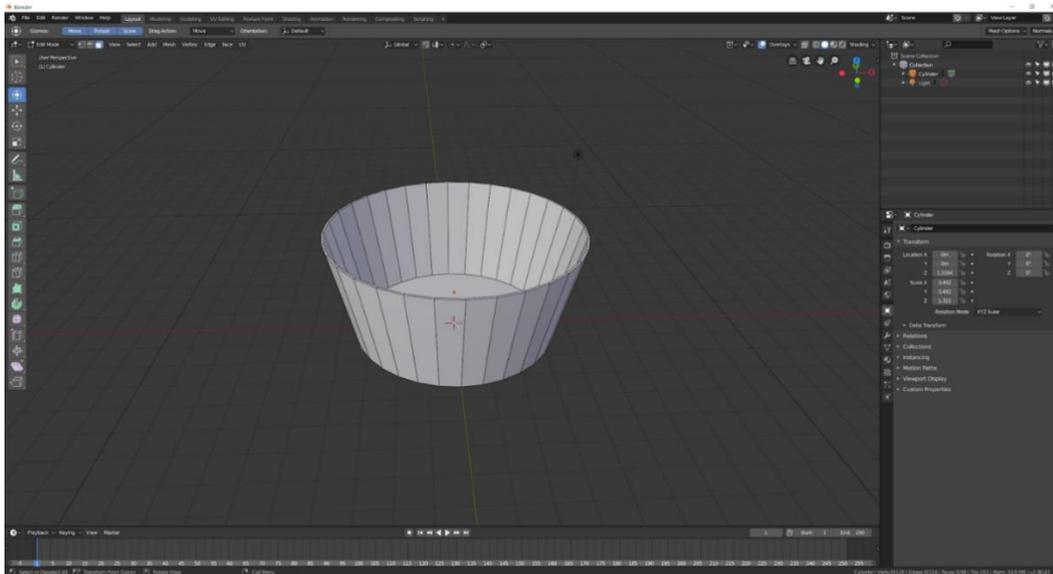
Por tanto, el primer paso consiste en añadir a la escena la malla de un cilindro (Img. 19) a partir del cual se modelará la palangana de la imagen



19. Malla base

(Img. 18). Entrando en el modo edición de Blender, se pueden modificar las caras, aristas y vértices de la malla.

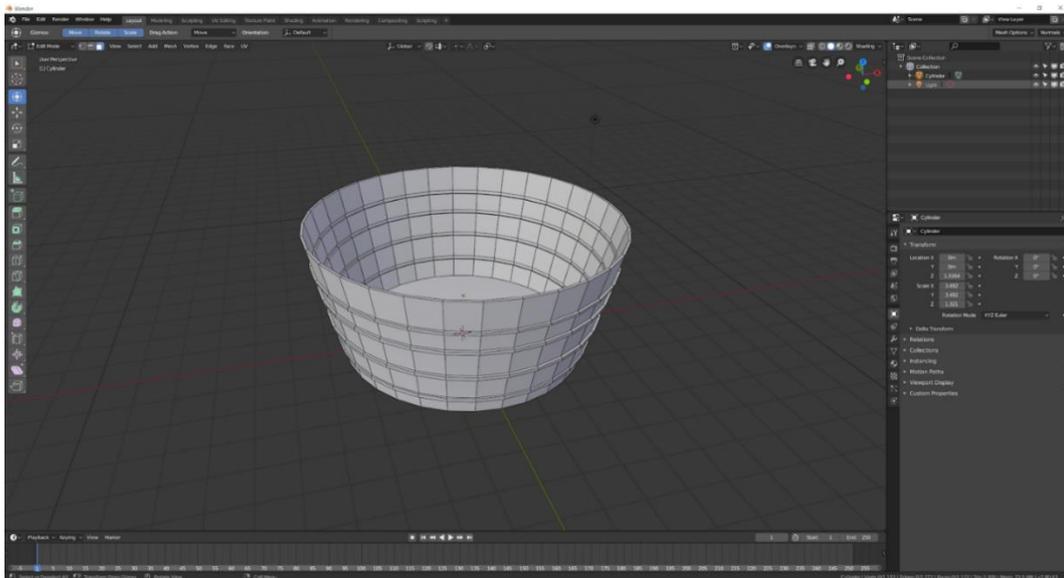
En primer lugar, se agranda la cara superior del cilindro para darle una ligera forma cónica truncada, para posteriormente extruirla hacia el interior, dándole la forma básica a la palangana (Ilustración 20).



20. Cara superior extruida hacia el interior

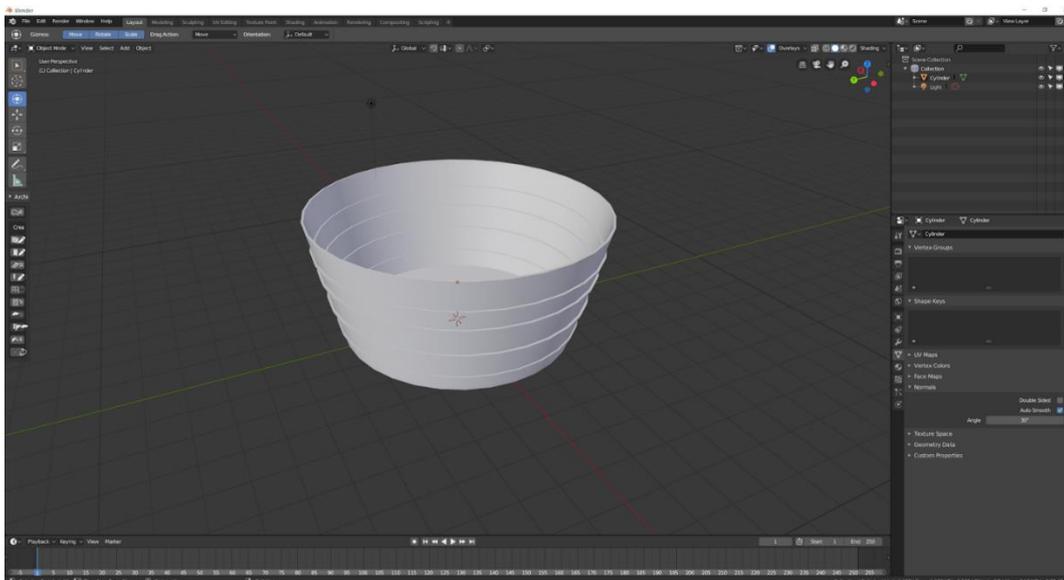
Tras esto, con la herramienta *insert loop*, se divide la malla en distintas filas para darle forma a los aros salientes de la palangana. Se seleccionan

as caras de estos aros, y se extruyen ligeramente para obtener el relieve tal como se observa en la Ilustración 21.



21. Aros de la palangana extruidos

Llegados a este punto, ya tenemos acabada la geometría de la palangana, pero al ser un modelo con un número bajo de polígonos, el facetado resulta demasiado evidente. La gran mayoría de softwares de modelado 3D disponen de una opción de suavizado del facetado, conocido en Blender como Shade Smooth, en el que, utilizando una serie de cálculos,



22. Modelo tras aplicarle Shade Smooth

suavizan la transición de la luz entre facetas dando la sensación de que el objeto contiene un número mucho mayor de polígonos.

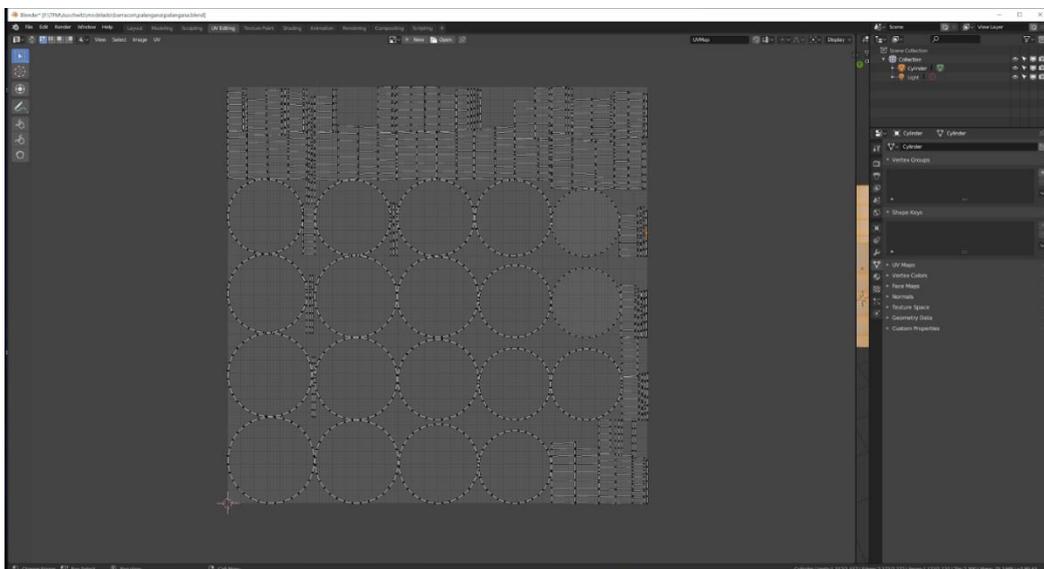
Una vez finalizado el modelo 3D, es necesario extraer las UV para el posterior texturizado. El mapeo UV consiste en la proyección sobre un plano bidimensional de una figura tridimensional mediante la asignación de píxeles sobre la superficie de los polígonos. Las



23. Ejemplo de mapeado UV sobre objeto 3D en el mundo real.

letras UV corresponden a los ejes vertical y horizontal del plano bidimensional, ya que las letras X, Y y Z ya son utilizadas para referirse a los ejes tridimensionales y podrían llevar a confusión si se utilizaran las letras X e Y.

Para la extracción del mapa UV, se seleccionan todos los polígonos del objeto, y se utiliza la opción Smart Unwrap, una utilidad de Blender que despliega automáticamente de forma óptima todos los polígonos sobre un plano bidimensional.

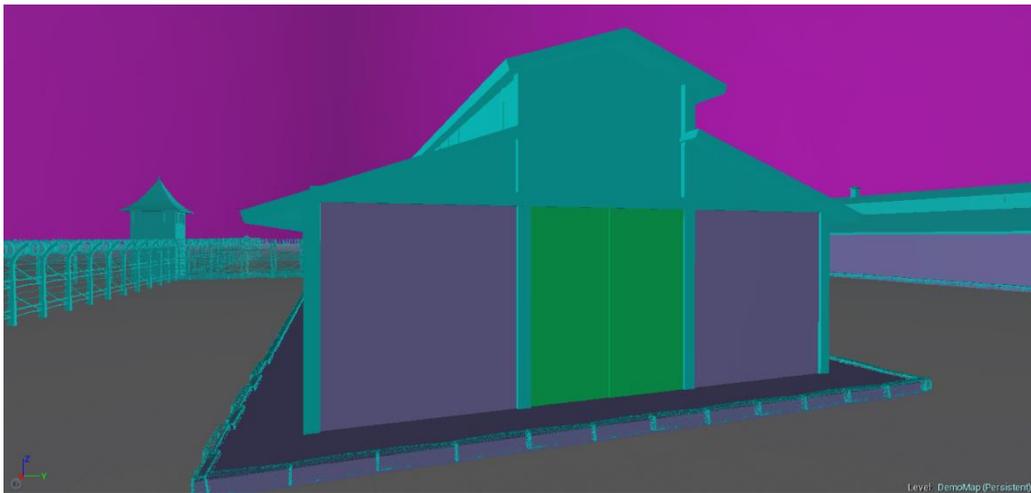


24. Visualización del mapa UV

Finalmente se exporta el modelo en formato .fbx para su posterior texturización.

5.3.1.3 Modelado de un edificio

Debido a que los edificios a modelar van a ser muy sencillos, se ha optado por modelarlos en el propio motor de juego utilizando las herramientas que dispone para ello, haciendo que sea un proceso relativamente rápido.



25. Modelado de un barracón

Como se aprecia en la ilustración 25, el barracón se ha modelado utilizando únicamente cubos, escalándolos y situándolos para darle forma a las paredes, tejados, pilares, suelo y puertas.

5.3.2 TEXTURIZADO

El texturizado es el proceso de proyectar una o más imágenes bidimensionales sobre un modelo tridimensional. Por lo general se utiliza para aplicar color al modelo, pero también se utiliza para aplicar efectos de brillo, relieve, emisión lumínica, transparencia... entre otros.

5.3.2.1 Physically Based Rendering

Physically Based Rendering o *PBR*, traducido al español como *renderizado basado en la física*, es un concepto de renderizado de gráficos 3D que utiliza efectos de sombreado e iluminación que aplican una serie de cálculos para que el comportamiento de los rayos de luz sea lo más semejante posible al del mundo real. Por tanto, esto facilita crear texturas realistas ya que imita el comportamiento real de la luz, y el comportamiento de los objetos será consistente bajo cualquier condición de luz.

Para el texturizado PBR se utilizan distintos mapas, cada uno de los cuales realiza una función dentro del renderizado del objeto. A continuación, se detallan los mapas utilizados para el texturizado de la palangana:

5.3.2.1.1 Mapa de albedo (albedo map):

El mapa de albedo, también llamado mapa de color, es un archivo de imagen 2D aplicado a la superficie de un modelo 3D. Por lo general contiene datos de color en RGB (rojo, verde y azul) y opcionalmente puede contener un canal Alpha (opacidad).

5.3.2.1.2 Mapa de rugosidad (roughness map)

El mapa de rugosidad define mediante una imagen 2D en escala de grises, la cantidad de rugosidad de la superficie de un modelo 3D, y definiendo por tanto la forma y cantidad de reflexión de la luz que devolverá el objeto.

5.3.2.1.3 Mapa de metalicidad (metalness map)

En la física real, los materiales conductores de la electricidad tienen diferentes propiedades reflectivas según su conductividad. Este mapa utiliza los parámetros de conductividad reales para ajustar el aspecto metálico de un objeto, mediante una imagen 2D en escala de grises.

5.3.2.1.4 Mapa de normales (normal map)

El mapeo de normales es una técnica utilizada para simular efectos de relieve sobre un objeto 3D sin necesidad de modelarlos poligonalmente. Este mapa consiste en una imagen 2D compuesto por datos RGB, en el que cada color corresponde al desplazamiento de las coordenadas X, Y y Z.

5.3.2.1.5 Mapa de oclusión ambiental (Ambient occlusion map)

La oclusión ambiental es una técnica de sombreado que se utiliza para calcular la exposición de cada parte del modelo a la luz ambiental, y plasmarla en una imagen 2D en escala de grises. Cuando se utiliza este mapa en la geometría 3D, se aplica sobre el modelo el sombreado previamente calculado, librando al procesador gráfico de realizar esta tarea constantemente en tiempo real.

5.3.2.2 Texturizado de un objeto

El software utilizado para el texturizado de los objetos del juego ha sido el Substance Painter utilizando el flujo de trabajo PBR (Physically based rendering). Substance Painter permite texturizar en alta calidad de forma muy rápida los modelos 3D por su sencillez de uso y materiales predefinidos.

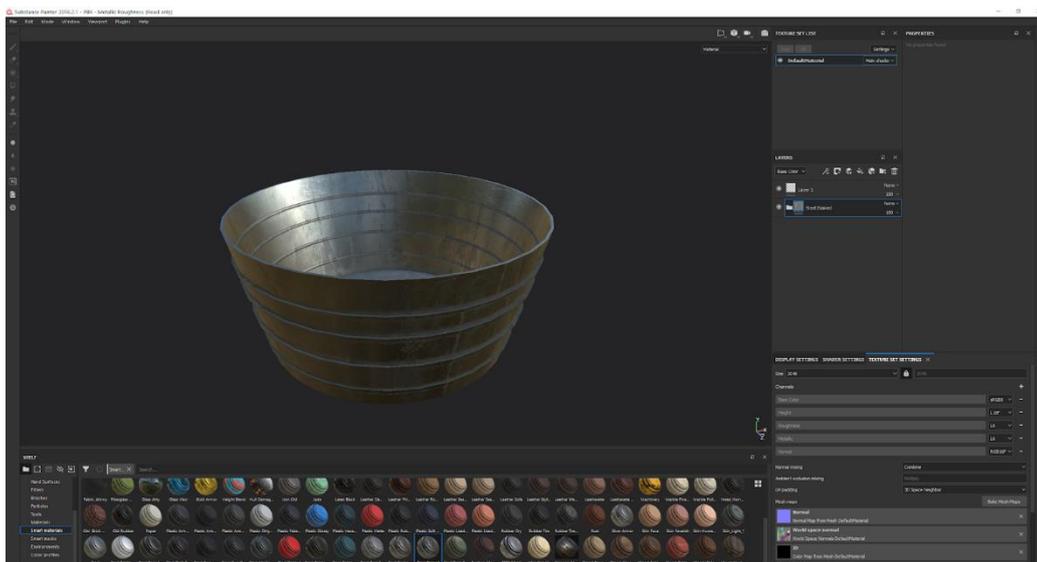


26. Modelo cargado todavía sin texturizar

El primer paso una vez abierto el Substance Painter, es cargar el modelo 3D a texturizar e indicar el tamaño de los mapas resultantes deseados. Cuanto mayor sea el tamaño de los mapas, más calidad de imagen tendrá el texturizado, pero más pesado será de gestionar para la tarjeta gráfica.

Una vez tenemos el modelo en pantalla, hay que realizar lo que se conoce como *baking* u *horneado*. Es un proceso que el Substance Painter realiza de manera automatizada, en el que se analiza el modelo 3D para detectar la oclusión ambiental, los ángulos, la curvatura de los polígonos y el grosor de las distintas partes del modelo, para posteriormente aplicar de forma más correcta y realista los distintos efectos de los materiales.

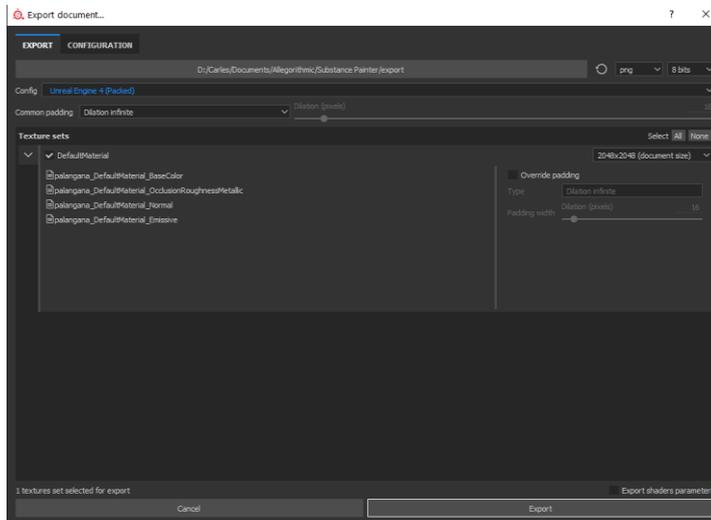
Una vez *bakeado* el modelo, se puede proceder al texturizado. Al ser un modelo muy sencillo al que tan sólo hay que aplicarle una textura metálica, se pueden utilizar los materiales predefinidos por Substance Painter, ya que de forma rápida producen texturas realistas y de gran calidad.



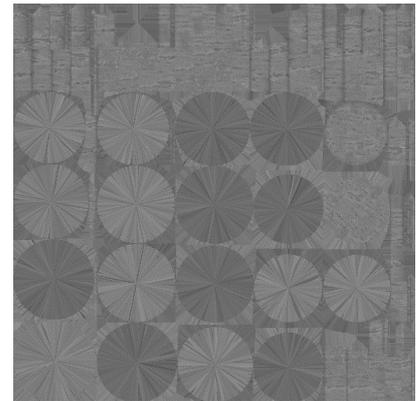
27. Modelo texturizado

El último paso consiste en exportar este texturizado en los distintos mapas que requiere el motor Unreal Engine. Substance Painter tiene parámetros predefinidos de exportación para este motor de juego, así que tan solo hay que elegir estos ajustes y exportar, obteniendo los mapas de color, roughness, metallic, ambient occlusion y mapa de normales.

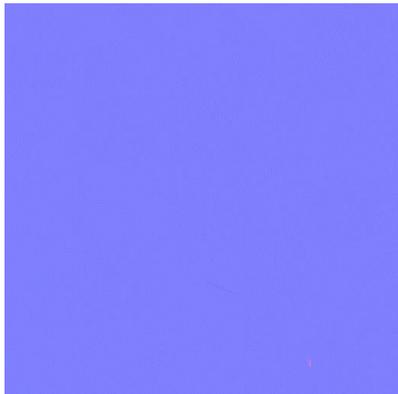
Puesto que los mapas de oclusión ambiental, metalicidad y rugosidad son en escala de grises, Substance Designer permite exportarlos en un único archivo de imagen, utilizando para ello un canal de color para cada mapa. El canal rojo para el mapa de oclusión ambiental, el verde para el de rugosidad, y el azul para el de metalicidad.



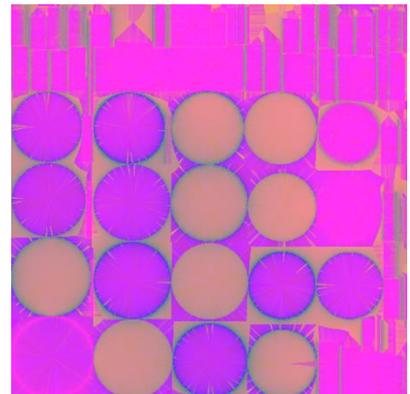
28. Ventana de exportación



29. Mapa de albedo



30. Mapa de normales



31. Mapa de oclusión ambiental, rugosidad y metalicidad

5.3.2.3 Texturizado de un edificio

El proceso de texturizado del barracón también resulta sencillo, ya que se ha utilizado un set de texturas provenientes de la técnica conocida como fotogrametría(glosario) realizadas por la empresa Quixel.

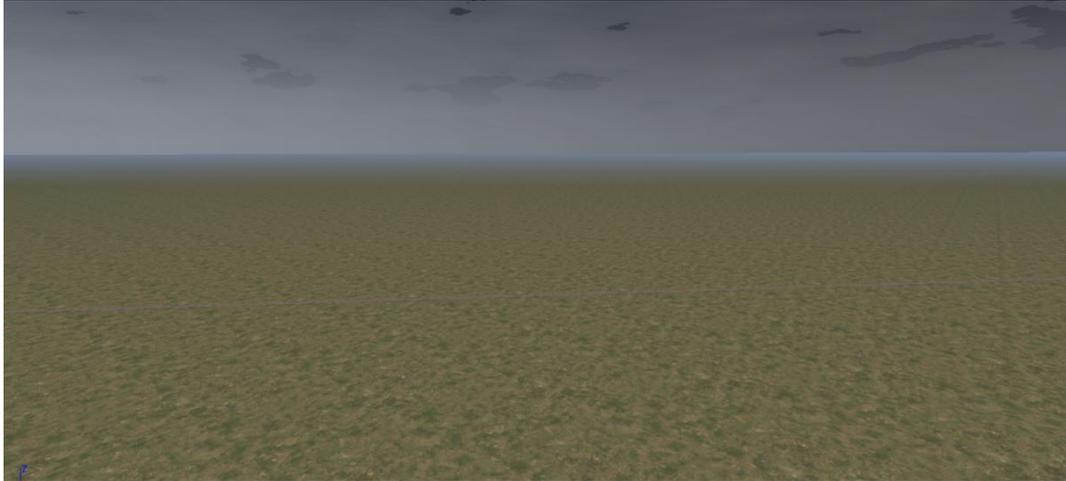
De esta forma solo hay que seleccionar las texturas deseadas en el software Quixel Megascans y exportarlos a Unreal Engine para aplicarlos a las diferentes partes del barracón, paredes, techo y pilares. Una vez importadas, se asignan a cada componente del barracón para obtener un texturizado rápido y de calidad.



32. Barracón texturizado sin efectos de luces.

5.3.3 CREACIÓN DEL TERRENO

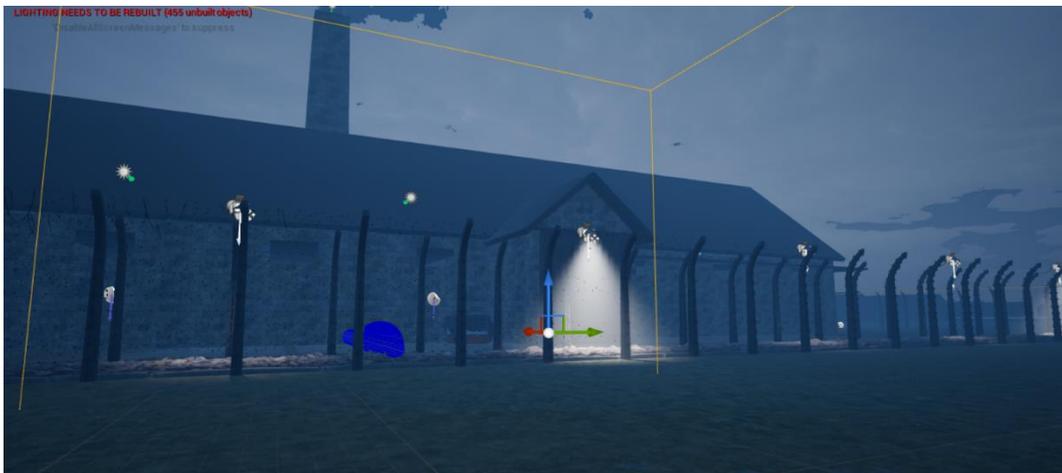
Unreal dispone de herramientas potentes para el modelado y texturizado de terrenos exteriores, por lo que no hay necesidad de modelarlo en un software externo.



33. Terreno sin modificar en Unreal

En primer lugar, se crea un plano principal de gran tamaño que ocupará la totalidad del escenario, el cual será esculpido para crear irregularidades en el terreno, tales como montículos o hendiduras que serán convertidas en charcos.

El terreno de Unreal lleva de forma predeterminada una textura que debemos sustituir para darle el aspecto deseado. En un terreno, la textura se repite indefinidamente en un mosaico que resulta demasiado evidente a la vista, lo que le quita realismo. Para solucionar este problema, se puede crear un material de terreno con varias capas con texturas distintas, y utilizar las herramientas de pintar terreno para mezclar distintas texturas en el mismo terreno, como por ejemplo tierra, césped, rocas, agua... y que así se asemeje más a un terreno real.



34. Vista del terreno y el crematorio.

En esta experiencia virtual, la lluvia juega un papel importante para condicionar las emociones del usuario, por lo que el suelo debe estar mojado, así que para finalizar el texturizado, se pintan sobre el terreno distintos charcos de agua.

5.3.4 CREACIÓN DEL ESCENARIO

5.3.4.1 Colocación de los elementos en el escenario

En total se han modelado y texturizado un total de 48 elementos sin contar las estructuras de los edificios. Una vez modelados y texturizados estos elementos, ya se puede proceder a situarlos sobre el escenario en el que transcurrirá la experiencia. Cada uno de los modelos debe importarse a Unreal Engine, y hay que aplicarle uno a uno las texturas previamente grabadas. Para ello se abre el material de cada objeto, y se les asignan los distintos mapas de texturas. Una vez aplicados los cinco mapas, se guarda el material y se aprecia en el visor que el objeto ya tiene el mismo aspecto que tenía cuando fue texturizado en Substance Painter.



35. Objeto importado en el motor de juego

Una vez importados los modelos y aplicados los materiales con las texturas, ya pueden ir situándose los elementos en el escenario para darle forma al campo de concentración tal y como se ha diseñado en el plano general. El proceso seguido ha sido situar primero los edificios en el mapa, para posteriormente “amueblarlos” con elementos tales como las literas, los hornos crematorios, letrinas, etc... Finalmente se colocan en la escena los elementos que detallan el escenario.

5.3.4.2 Efectos gráficos

La atmósfera y el ambiente de este entorno son clave para la consecución de los objetivos principales, ya que se persigue inducir unos estados de ánimo concretos al usuario, tales como la tristeza, la inquietud e incluso la ansiedad. Por tanto, la experiencia se situará en un entorno gris, nublado y lluvioso. *Unreal* dispone de gran cantidad de plugins programados por terceras personas para reducir el tiempo de producción en la creación de escenarios o videojuegos, así que se han usado algunos de estos plugins para la creación de los efectos gráficos deseados.

En primer lugar, se ha utilizado el plugin *Ultra Dynamic Sky*⁵³ que permite de forma sencilla la creación del cielo y las nubes. Se ha aumentado al máximo el número de nubes y se ha desaturado el cielo para darle una tonalidad totalmente gris.

Se ha aplicado el efecto *volumetric fog* para que todo el escenario tenga una neblina que ayude a hacer más realista el ambiente lluvioso.

Para el efecto de lluvia se han aplicado dos sistemas distintos. Uno de ellos genera un efecto de gotas de lluvia de la siguiente manera: se generan partículas en forma de pequeño cilindro alargado que caen desde el cielo hasta el suelo a una velocidad similar a la de las gotas de lluvia, y se les aplica un material translúcido y refractivo. Cuando estas partículas pasan

⁵³ Everett Gunter, “Ultra Dynamic Sky”, <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/slug/ultra-dynamic-sky> (Último acceso el 4 de Mayo de 2019).

frente a la cámara dan la sensación de ser gotas de lluvia que caen rápidamente. La función del segundo sistema es la de generar un efecto gráfico sobre el suelo para simular el choque de las gotas de agua.

5.3.4.3 Sonido

El apartado de creación de sonido se puede subdividir en dos partes. Por una parte, la creación de sonidos y efectos tales como la lluvia, el ruido de los objetos al caer al suelo, etc... Por otra parte, es necesario hablar sobre la importancia de la función que cumple la música en la generación de estados de ánimo.

5.3.4.3.1 Efectos de sonido

Los efectos de sonido de este escenario están compuestos por archivos de bibliotecas libres de derechos. Por nombrar algunos de los sonidos utilizados, se encuentran sonidos de cacharros metálicos cayendo al suelo, lluvia o fuego entre otros. A continuación, se pasa a describir cómo se han implementado los principales sonidos en el escenario.

Sonidos de ambiente: En el escenario se pueden escuchar distintos sonidos de ambiente, tales como el fuego de los hornos crematorios o el sonido del gas en la cámara de gas. La implementación de estos sonidos se ha realizado utilizando un actor, “ambient sound”, para cada uno de ellos y situándolo en el lugar de la fuente del sonido.

Lluvia: Este entorno se sitúa en un día de lluvia, por tanto, se ha descargado e implementado un archivo de sonido de lluvia. El sonido de la lluvia es interactivo, y reacciona dependiendo del estado de tensión del usuario. Cuanto mayor sea su nivel de tensión, más fuerte suena la lluvia, y, por el contrario, cuanto más calmado esté, menor es el volumen y más imperceptible es el sonido de la lluvia.

Sonido de objeto metálico: En el escenario hay distintos objetos que el usuario puede agarrar y soltar o lanzar con físicas realistas. Para una mayor

inmersión es necesario que ese objeto produzca un sonido al colisionar contra el suelo, paredes, u otros objetos.

5.3.4.3.1 Música ambiental

La música puede provocar emociones en la persona que la escucha, por tanto, se ha hecho un repaso sobre los principales métodos de inducción de estados de ánimo mediante la música expuestos por Daniel Västfjäll en su estudio sobre inducción emocional mediante la música⁵⁴.

Tal como explica, para producir la sensación de miedo se requiere un tema con las siguientes características⁵⁵: Tonalidad menor, tempo lento, tono bajo, ritmo firme, armonía disonante y volumen medio. Y para inducir sensación de miedo, el tema debe tener las siguientes características: Tonalidad menor, tempo lento, tono bajo, ritmo lento, armonía disonante y volumen bajo.

Como se puede comprobar, existen grandes similitudes entre las características necesarias para inducir miedo y tristeza mediante un tema musical. Por tanto, se ha buscado una pieza de biblioteca libre de derechos de autor que reuniese estas características, y se ha aplicado al escenario en tres momentos distintos. En la llegada al campo de Auschwitz, a la llegada a los hornos crematorios, y al descubrirse los cadáveres en las cámaras de gas.

⁵⁴ Daniel Västfjäll, "Emotion Induction through Music: A Review of the Musical Mood Induction Procedure", *Musicae Scientiae* 5 (2002), 173-211.

⁵⁵ *Ibid*, 176.

5.4 Creación del sistema electrónico de bio-feedback

El bio-feedback es una técnica que puede utilizarse para controlar algunas funciones corporales, como por ejemplo el pulso o la respiración. Para ello se utilizan distintos aparatos y sensores que reciben datos biométricos. Con estos datos se pueden aplicar distintas técnicas para mejorar la salud, tanto física como mental⁵⁶.

A continuación, se exponen distintos tipos de bio-feedback:

- Respiración: Los sensores de bio-feedback de respiración implican el uso de bandas de sensores alrededor del tórax y el abdomen para monitorear los patrones y las frecuencias respiratorias. Con entrenamiento, las personas pueden aprender a tener un mayor control sobre su respiración, lo que puede ayudar en una variedad de situaciones.

- Pulso: Para este tipo de bio-feedback se utiliza un dispositivo conectado a sensores situados en los dedos, las muñecas, el pecho o el torso. Estos dispositivos miden la frecuencia cardíaca y la variabilidad de esta frecuencia.

- Respuesta galvánica de la piel: Este sistema básicamente consiste en medir la conductividad eléctrica de la piel, que depende de la cantidad de sudor en su superficie, ya que es un indicador útil para detectar el nivel de excitación emocional. Aparte de la función termorreguladora del sudor, la estimulación emocional también puede desencadenar fácilmente la sudoración. Cuanto más fuerte es la excitación del usuario, más alta es la conductividad de la piel.

⁵⁶ Very Well Mind "What is Bio-Feedback and how does it work?", <https://www.verywellmind.com/what-is-biofeedback-2794875>

- Presión sanguínea: Este tipo de bio-feedback implica el uso de un dispositivo que proporcione información sobre la presión arterial del usuario.

- Temperatura corporal: Generalmente, durante momentos de estrés, el cuerpo humano experimenta un descenso de la temperatura. Por tanto, este sistema de bio-feedback puede ayudar a detectar mejor cuándo el usuario comienza a sentirse bajo una situación de angustia.

- Actividad cerebral: Este tipo de bio-feedback, conocido como neurofeedback, utiliza una serie de electrodos situados en la cabeza y conectados a un dispositivo encargado de detectar el microvoltaje de las ondas cerebrales.

- Tensión muscular: En este tipo de bio-feedback se colocan sensores en los músculos del cuerpo que se deseen monitorizar, y se conectan a un dispositivo de electromiografía. Este dispositivo detecta cambios en la tensión muscular a través de la monitorización de la actividad eléctrica producida por las contracciones musculares.

Para el sistema electrónico de biofeedback de este trabajo se ha optado por incluir un sensor de pulso, un sensor de respuesta galvánica de la piel y un sistema de actividad cerebral, que van conectados a distintas placas Arduino para procesar la señal y enviarla al motor Unreal Engine. A continuación, se muestra un esquema de los sensores y sus controladores, y se expone los sensores que forman parte de este sistema de biofeedback y cómo son utilizados:

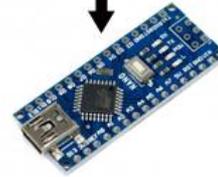
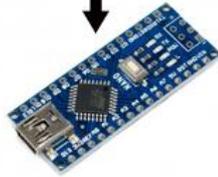
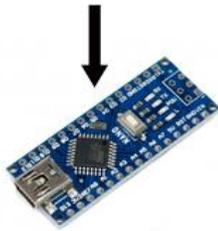
ENCEFALOGRAMA



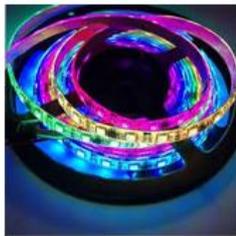
SENSOR GSR



SENSOR PULSO



ARDUINO CONTROLADOR LUCES



ARDUINO EMISOR DE DATOS A PC



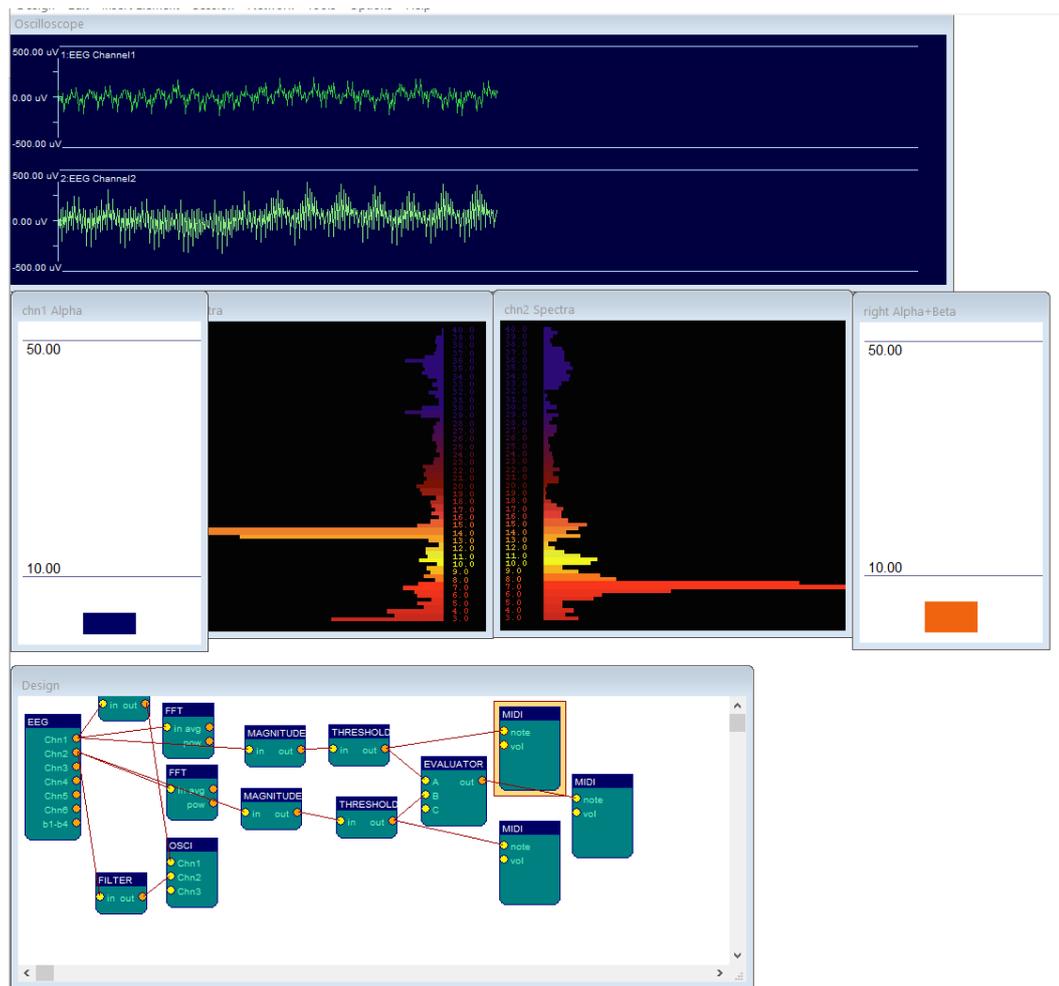
36. Esquema de funcionamiento de los sensores

5.4.1 ELECTROENCEFALOGRAMA

El primero de los dispositivos a utilizar es un sistema actividad cerebral, también conocido como encefalograma. Se ha utilizado el sistema llamado OpenEEG, de hardware abierto y de bajo coste, pero también de bajas prestaciones, por lo que el feedback obtenido no es de alta calidad, aunque suficiente para detectar momentos de alteración en el usuario. Este dispositivo dispone de dos canales pudiendo usar un total de cuatro electrodos, tanto activos como pasivos. Este hardware se utiliza con un software que lee las señales eléctricas y las interpreta. Hay diversos softwares tanto gratuitos como de pago que pueden utilizarse para este fin, pero era necesario utilizar uno que permitiese alguna salida de datos para que pudiesen ser leídos por Arduino. El software utilizado se llama BrainBay, que puede utilizarse tanto para realizar encefalogramas, como electrocardiogramas o electromiogramas. La elección de este software ha estado basada, en primer lugar, porque dispone de decenas de esquemas predefinidos para la detección de distintas ondas cerebrales, facilitando mucho su uso, y, por otra parte, porque dispone de salida de datos vía protocolo Midi, que serán enviados a la placa Arduino para su lectura.

Para detectar el estado de alteración del usuario se toman datos de las ondas Beta y Alfa del cerebro.

Las ondas Beta se asocian con el hecho de estar consciente o en un estado de vigilia, atento, alerta e incluso en estado de ansiedad. También están asociadas con las órdenes que el cerebro realiza respecto a los movimientos motores.



37. Pantalla principal del software BrainBay

Las ondas Alfa se asocian a un estado de ánimo relajado y tranquilo. Estas ondas se pueden inducir cerrando los ojos y relajándose, y rara vez están presentes durante procesos cognitivos intensos como el pensamiento, el cálculo mental o la resolución de problemas⁵⁷.

Por tanto, estos dos tipos de señales son óptimos para la detección de la ansiedad y la calma. En la Ilustración 37 se puede observar el software BrainBay con distintos modos de visualización de los datos recogidos tales como un osciloscopio o gráficos de barras.

Una vez configurado el sistema y comprobado que lee los datos correctamente, ha sido necesario establecer el límite tras el cual se

⁵⁷ <https://www.emotiv.com/eeg-guide/>

considera que una persona está alterada o no. Debido a las limitaciones tanto del software como del hardware, no se detectarán distintos niveles de ansiedad, sino que tan sólo se ha determinado un umbral por el que las señales que estén por encima activarán la señal de que el usuario se encuentra alterado, y con las señales debajo de este umbral se considerará que está en calma. Esto sería insuficiente para una experiencia óptima, pero ya que este sistema se combina con el resto de sensores biométricos, es un método correcto.

Una vez definido el umbral por el que se considere que el usuario está en calma o alterado, se necesitan exportar los datos en tiempo real a la placa Arduino. La única forma posible ha sido mediante la extracción de los datos mediante protocolo Midi, y realizar un sistema de entrada de datos Midi en la placa Arduino.

Los datos recibidos mediante encefalograma se combinarán con los otros sensores tal como se explica más adelante para obtener el nivel general de alteración y estrés del usuario y enviar esos datos al motor Uneal Engine.

5.4.2 SENSOR DE PULSO

Para la adquisición de los datos respectivos al pulso cardíaco, se ha optado por el uso de un sensor MAX30102, que tiene función tanto de detección de pulso como de oxímetro, aunque esta última función no se va a utilizar. Este tipo de sensor funciona mediante un método llamado fotopleitismografía, consistente en la detección de la reflexión de la luz que emite el sensor al rebotar contra las venas y arterias. El fotodiodo receptor convierte la intensidad de esa luz en señales eléctricas que lee la placa Arduino⁵⁸.



38. Sensor de pulso
MAX30102

⁵⁸ Anne-Clair Bourland, "MAX30102 – how does it work?", Hackaday.IO, <https://hackaday.io/project/26103-preemiealert/log/64833-max30102-how-does-it-work> (consultada el 8 de Julio de 2019)

Una vez establecido el esquema electrónico y realizada la programación, la principal tarea ha consistido en establecer distintos umbrales a partir de los cuales se considera que el usuario está en tensión o estado de miedo.

Se considera que un pulso normal se encuentra entre las 60 y 100 pulsaciones por minuto. Si se superan las 100 pulsaciones por minuto en una situación de reposo, se podría estar sufriendo de taquicardia, derivada de problemas de salud físicos o mentales, tales como estrés, ansiedad o miedo⁵⁹.

Durante un ataque de pánico, el pulso aumenta en unas 20 pulsaciones por minuto, por lo que una persona que suela tener unas pulsaciones medias de 80, pueden aumentar a 100, por lo que para establecer los umbrales de detección de estado de alteración, se ha tomado un mínimo de 50 pulsaciones por minuto como estado de relajación, y 120 pulsaciones por minuto como estado de pánico. Entre estos dos umbrales el sistema detecta el estado de alteración, lo combina con los datos de los demás sensores biométricos y los envía al motor de juego.

5.4.3 SENSOR DE RESPUESTA GALVÁNICA DE LA PIEL

Para obtener los datos de la respuesta galvánica de la piel se utiliza un sensor que trabaja junto a una placa Arduino para recibir los datos de sudoración de la piel. Este sensor consiste en dos electrodos, cada uno situado en un dedo distinto, que detectan la conductividad



39. Sensor de respuesta galvánica de la piel.

eléctrica de la piel, superior cuanto más sudoración hay en ella. Este sensor envía de forma analógica el resultado obtenido, proporcionando un valor entre 0 y 1023. Tras realizar diferentes pruebas, se ha obtenido como valor mínimo el 0, y un valor máximo de 110. A partir de ahí, se ha subdividido

⁵⁹ Christy Bowles, "Anxiety & Pulse", Live Strong, <https://www.livestrong.com/article/155585-anxiety-pulse/> (consultada el 8 de Julio de 2019)

en 5 rangos de tensión del usuario. Esos datos son enviados al Arduino que recibe todos los datos de los sensores biométricos para obtener la media total de todos los sensores y la envía a Unreal Engine y al Arduino que controla las luces situadas en las Oculus rift.

5.4.5 SISTEMA DE LUCES

Aparte de los sensores biométricos, el usuario lleva incorporado junto a las Oculus Rift una serie de leds RGB que se iluminan dependiendo del estado de tensión detectado. Estas luces led funcionan a 5 voltios y disponen del chip WS2812B que permiten el direccionamiento individual de datos, por lo que se puede cambiar el color e intensidad de led de manera independiente.



40. Tira de luces led con chip WS2812B

Se han establecido 5 estados para las luces, relativos a los 5 estados de tensión y ansiedad que se han establecido a partir de los sensores biométricos. En el mínimo nivel de tensión, las luces se iluminan de color verde, en el siguiente nivel se ilumina de color amarillo limón, cuando la tensión llega al nivel 3 se ilumina de color amarillo, en el nivel 4 se ilumina de color naranja, y en el máximo nivel de tensión y ansiedad se ilumina de color rojo.



41. Dispositivo de realidad virtual junto al sistema de luces.

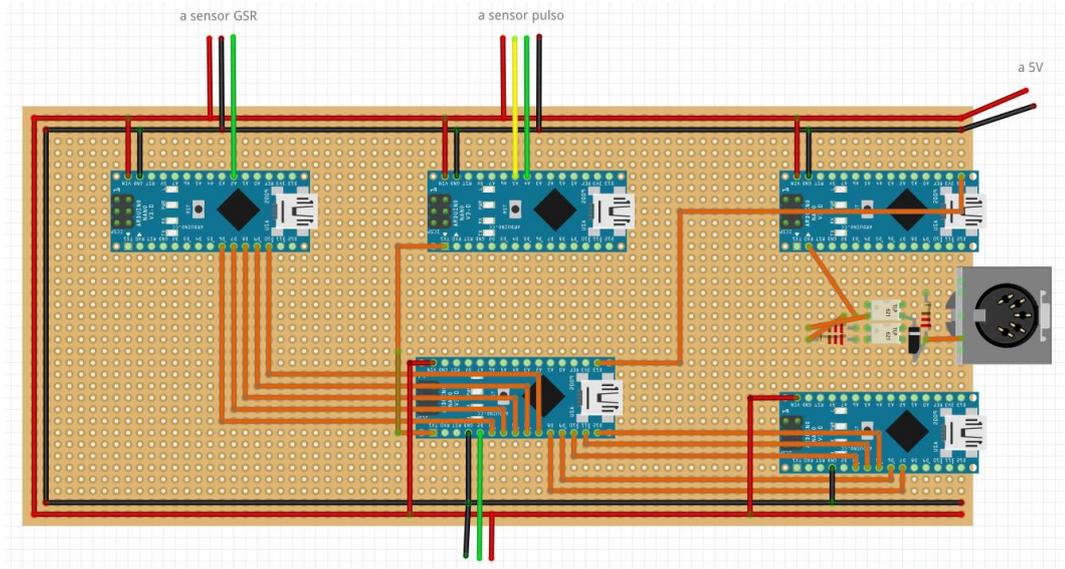


42. Dispositivo contenedor de la placa electrónica.

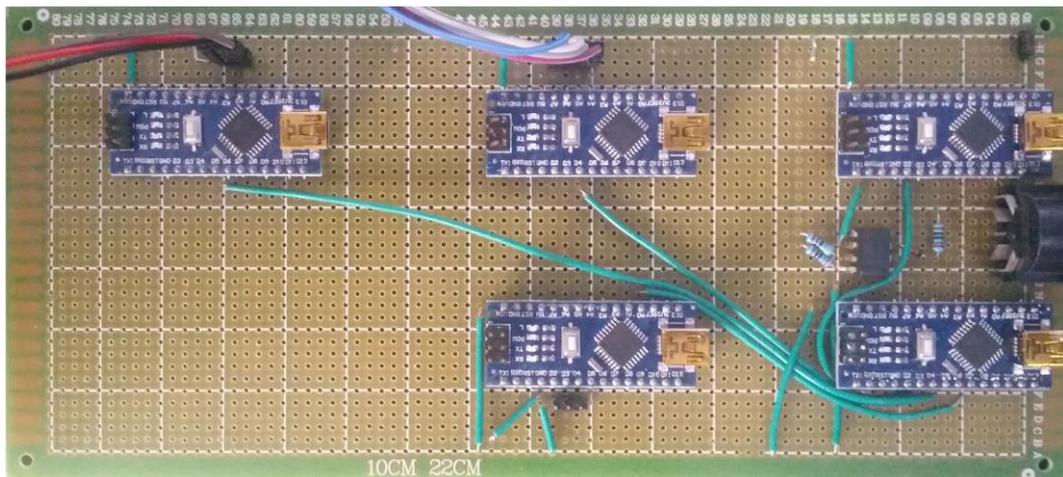
5.4.6 CREACIÓN DE LA PLACA BASE DE LA ELECTRÓNICA

Debido a la cantidad de sensores y tareas a realizar por la placa Arduino, la recepción y envío de datos era mucho más lenta de lo adecuado, por lo que se ha optado por utilizar un Arduino individual por cada sensor, los cuales envían los datos procesados a otro Arduino cuya única función es la de enviar todos los datos recibidos al motor Unreal Engine en forma de String.

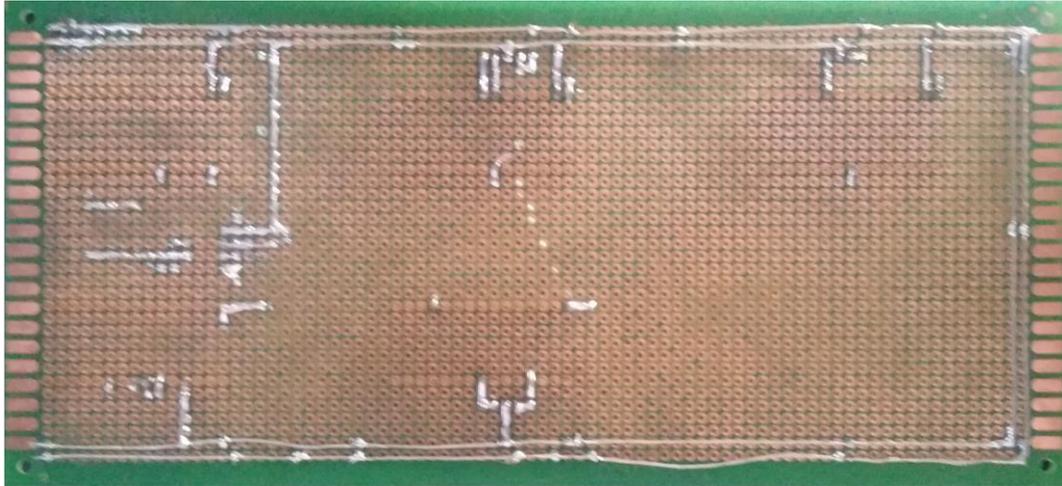
Para facilitar el uso de los dispositivos electrónicos se ha creado una placa base que contiene las cinco placas Arduino junto con los componentes electrónicos necesarios para su funcionamiento tales como resistencias o diodos, y pines de entrada y salida de los sensores o luces.



43. Esquema de la electrónica



44. Parte superior de la placa base.

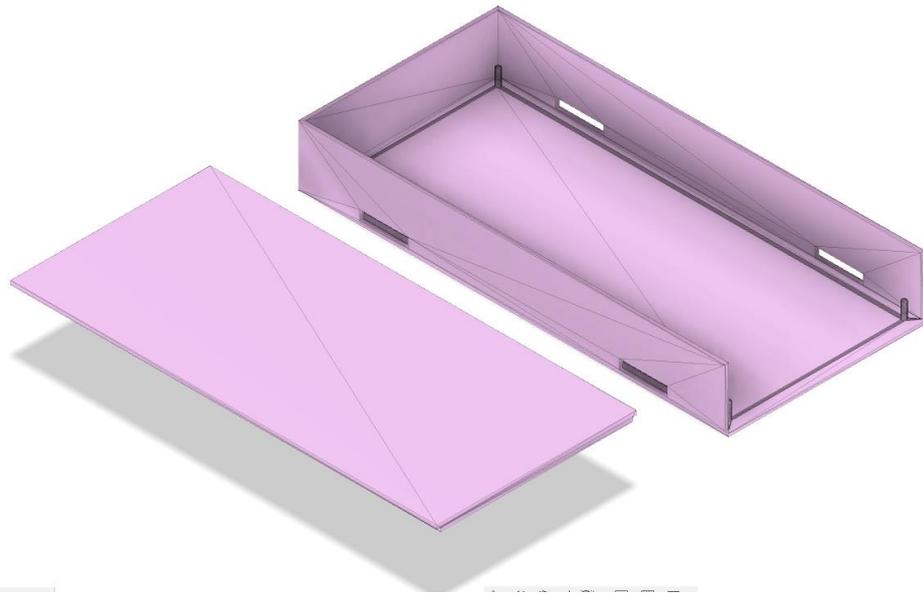


45. Detalle inferior de la placa base.

5.4.7 CREACIÓN DE LA CARCASA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D

Todos estos elementos van conectados a una placa base de 10 x 22 centímetros, que a su vez va situada dentro de una carcasa, tanto por motivos estéticos como de usabilidad, ya que, por motivo de la longitud de los cables, debe ir situada en el brazo izquierdo del usuario, sujetado mediante unos velcros.

Esta carcasa se ha diseñado mediante el software de modelado CAD Fusion 360, y posteriormente se ha impreso utilizando una impresora Creality Ender 3 a una altura de capa de 0.2 milímetros.



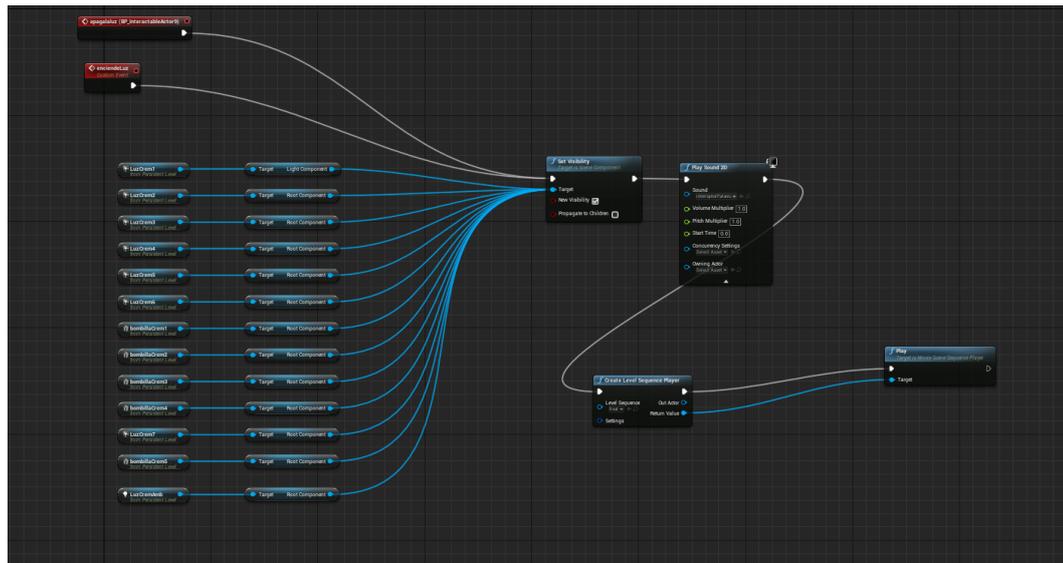
46. Modelado de la carcasa de la circuitería electrónica.

5.5 Programación

Para este proyecto ha habido que programar distintas funciones para una experiencia satisfactoria. Se ha partido de una plantilla predefinida para la realización de escenarios en realidad virtual de la que ya dispone Unreal Engine, además de instalar distintos plugins para facilitar la programación de funciones relacionadas con la realidad virtual o la lectura de datos de Arduino. A partir de ahí ha sido necesario programar mediante lo que se conoce como Blueprints (programación mediante nodos en una interfaz gráfica) distintas funciones enumeradas a continuación:

- Control del personaje mediante joystick.
- Cambio de escenas.
- Recepción de datos por el puerto serie.
- Volumen de la lluvia según el estado del usuario.
- Saturación de imagen según el estado del usuario.
- Activación de la música ambiente.

- Interruptor de luz de la cámara de gas.



47. Programación del encendido de luces de la cámara de gas mediante blueprints.

Por otra parte, ha sido necesario programar en cada Arduino las funciones necesarias para la entrada y salida de datos, que se enumeran en la siguiente lista:

- Arduino con sensor de pulso mediante sensor.
- Arduino con sensor de conductividad galvánica de la piel mediante sensor.
- Arduino que recibe los datos de encefalograma mediante protocolo midi.
- Arduino conectado a tira de luces led direccionables.
- Arduino que recibe los datos del resto de Arduinos y realiza una media del nivel de tensión detectado por el resto de sensores, y lo envía a Unreal Engine mediante puerto serie y al Arduino controlador de luces.

6. TEST DE USABILIDAD Y RESULTADOS

Tanto para comprobar que la experiencia es fácil e intuitiva en el usuario, como para confirmar que se han cumplido los objetivos de generar la sensación de miedo y angustia en el usuario, se ha realizado por una parte un test de usabilidad para comprobar si la experiencia resulta intuitiva, y por otra parte, otro test para que los usuarios valoren el nivel de inmersión y las sensaciones que la experiencia les ha generado.

6.1 Test de usabilidad

Este test de usabilidad se realiza para la observación y detección de problemas de usabilidad de esta experiencia virtual, tales como los problemas de aprendizaje del uso del dispositivo, problemas en la creación del escenario 3D o la detección de bugs en la programación. Además, en este test de usabilidad también se prueba el sistema electrónico de biofeedback, y se establece una media a partir de la detección biométrica del estado de medio y tensión de los usuarios participantes para determinar los umbrales a partir de los cuales se considera que una persona se encuentra en estado de tensión.

El primer paso para desarrollar el test de usabilidad ha sido determinar qué partes de la experiencia se quieren evaluar:

- Movimiento del usuario dentro del escenario.
- Interacción del usuario con los objetos.
- Guiado indirecto del usuario en el entorno.
- Funcionamiento del sistema de biofeedback.
- Qué emociones siente el usuario en determinadas partes del escenario.
- En qué nivel de inmersión se encuentra el usuario.

Para ello se han desarrollado dos test de usabilidad:

¿El usuario ha entendido el manejo de los controles?	Si	No	En parte	Observaciones:
¿Ha tenido dificultades para moverse por el entorno?	Si	No	En parte	
¿El usuario ha sufrido mareos o nauseas debido al método de locomoción de la experiencia?	Si	No	En parte	
¿El usuario ha completado la experiencia?	Si	No	En parte	
¿El usuario ha sido consciente de que era capaz de interactuar con objetos?	Si	No	En parte	
¿Ha interactuado con ellos correctamente?	Si	No	En parte	
¿Le ha sido difícil encontrar el camino a seguir para completar la experiencia?	Si	No	En parte	
¿El dispositivo de biofeedback ha funcionado correctamente?	Si	No	En parte	
¿Le ha resultado molesto el sistema de biofeedback?	Si	No	En parte	

	Introducción	Barracones	Exterior	Hornos	Cámara de gas
¿Qué emociones ha experimentado?	Indiferencia Miedo Tristeza Ansiedad Otros	Indiferencia Miedo Tristeza Ansiedad Otros	Indiferencia Miedo Tristeza Ansiedad Otros	Indiferencia Miedo Tristeza Ansiedad Otros	Indiferencia Miedo Tristeza Ansiedad Otros
¿Qué nivel de inmersión ha experimentado?	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto	Bajo Medio Alto

Además, se han utilizado los test de usabilidad para detectar cualquier tipo de error, bug o situación inesperada durante las pruebas que han servido

para mejorar la experiencia de usuario. A continuación, se exponen los errores detectados por los primeros usuarios sometidos al test:

- Orientación del usuario en la escena de introducción: Al empezar la experiencia, por un error de cámara el usuario empieza de espaldas, se soluciona rotando la cámara 180°.
- Movimiento lateral del usuario: Se ha detectado que es incómodo utilizar el joystick solamente para movimientos adelante-atrás, así que se ha habilitado el movimiento lateral para tener más libertad de movimiento.
- En ocasiones el usuario tiende a alejarse de la ruta que se espera que siga, por lo que se ha establecido que cuando el usuario se aleje demasiado por el lugar al que debe ir, empiecen a sonar sirenas de alarma, que se silencian cuando el usuario vuelve a la ruta que debe seguir. Además, se ha añadido más alambre de espinos para que el usuario no se desvíe demasiado.
- Obstáculos que impiden el paso: Algunos objetos del suelo colisionan con el usuario impidiéndole el paso, este problema se ha solucionado ajustando los parámetros de altura de colisión del personaje en el motor de juego.
- Físicas de los cadáveres: Los cadáveres se comportan de forma no-realista cuando entran en contacto con el usuario. Se corrige desactivando las colisiones de los cadáveres.
- El usuario se confunde de salida de los barracones: La solución a este problema ha consistido en desactivar la posibilidad de abrir las puertas incorrectas. Además, para guiar al jugador a la puerta correcta, se ha oscurecido la luz cerca de la puerta incorrecta.

6.2 Resultados

Esta experiencia se ha probado en 22 personas de una edad comprendida entre 15 y 59 años, ninguno de ellos con algún tipo de experiencia de uso en dispositivos de realidad virtual, y tras finalizarla

rellenaron el cuestionario expuesto en la sección anterior. A continuación, se exponen los resultados obtenidos:

	Si	No	En parte
¿El usuario ha entendido el manejo de los controles?	63%	9%	28%
¿Ha tenido dificultades para moverse por el entorno?	18%	36%	46%
¿El usuario ha sufrido mareos o nauseas debido al método de locomoción de la experiencia?	0%	72%	28%
¿El usuario ha completado la experiencia?	82%	0%	18%
¿El usuario ha sido consciente de que era capaz de interactuar con objetos?	63%	9%	28%
¿Ha interactuado con ellos correctamente?	45%	0%	55%
¿Le ha sido difícil encontrar el camino a seguir para completar la experiencia?	36%	55%	9%
¿El dispositivo de biofeedback ha funcionado correctamente?	27%	18%	55%
¿Le ha resultado molesto el sistema de biofeedback?	0%	82%	18%

Esta tabla de porcentajes en la que se han redondeado las cifras decimales muestra datos relevantes acerca del desarrollo de la experiencia, siendo los resultados positivos en general, pero con la necesidad de prestar atención a algunos de los apartados tales como el funcionamiento del sistema de biofeedback, que no funciona de forma satisfactoria. Se puede observar también que ha habido dificultades para encontrar el camino correcto para completar la experiencia, o para interactuar correctamente con los objetos.

Aparte de estas comprobaciones, se ha detectado que en ninguna de las ocasiones el usuario era consciente de que su estado de tensión influía sobre los cambios realizados en el escenario.

Tras la realización de estos test se han corregido los fallos detectados a lo largo de las pruebas para mejorar la experiencia en la medida de lo posible.

A la finalización de la experiencia, los usuarios también han respondido un cuestionario acerca de las emociones e inmersión que han sentido durante el recorrido virtual:

¿Qué emociones ha experimentado?	Introducción	Barracones	Exterior	Hornos	Cámara de gas
Indiferencia	18%	27%	9%	9%	0%
Miedo	0%	9%	0%	9%	9%
Tristeza	9%	18%	0%	18%	82%
Ansiedad	18%	37%	18%	9%	0%
Inquietud	55%	9%	73%	55%	9%

Se puede observar en los resultados que en la mayoría de partes del escenario se han conseguido inducir sensaciones negativas en mayor o menor intensidad, tales como la inquietud en la introducción, la parte exterior o los hornos crematorios, o la tristeza, que ha sido la emoción general en la cámara de gas.

¿Qué nivel de inmersión ha experimentado?	Introducción	Barracones	Exterior	Hornos	Cámara de gas
Bajo	9%	9%	9%	0%	0%
Medio	36%	45%	45%	55%	9%
Alto	55%	46%	46%	45%	91%

En esta tabla se observa que por lo general se ha obtenido una inmersión media-alta en la mayoría de las partes del escenario, cumpliendo con ello el objetivo de inmergir al usuario en el entorno. Cabe destacar el alto porcentaje de inmersión conseguido en las cámaras de gas, que coincide con un alto porcentaje de sensación de tristeza en los usuarios.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Una vez finalizado este trabajo, expongo a continuación las conclusiones a las que se ha llegado, y se evalúa la consecución de los objetivos principales y secundarios propuestos para este trabajo.

Poco más se puede decir sobre las ya conocidas consecuencias que tuvo sobre la población el hecho de que la extrema derecha obtuviese el poder en Europa, pero es necesario, más allá de los actos execrables que tuvieron lugar, dar a conocer los efectos que estos causaron sobre la salud mental y la estabilidad emocional de quienes los sufrieron. Para concienciar a cada usuario en este sentido, un entorno virtual inmersivo cumple con creces ese objetivo empático.

Con la intención de desarrollar un primer prototipo de un dispositivo capaz de ayudar con el tratamiento de algunos de los trastornos derivados de la exposición a eventos traumáticos, se ha realizado un extenso estudio no sólo durante la realización de este proyecto final, sino a lo largo de los dos años de duración de este máster, sobre las formas de tratarlo mediante la aplicación de nuevas tecnologías tales como dispositivos electrónicos de bio-feedback, y entornos de realidad virtual.

Los estudios realizados hasta la fecha sobre el tema de la generación e inducción de estados de ánimo mediante realidad virtual han ayudado en gran medida al diseño de esta experiencia virtual, ya que, tras el periodo de prueba en distintos usuarios, se ha podido observar gracias a los resultados de los test que, por lo general, han logrado inducir los estados mentales deseados, cumpliendo con ello uno de los objetivos principales de esta investigación.

La creación del entorno no ha supuesto una gran dificultad, pero la programación en *Unreal Engine* ha sido muy costosa ya que es un motor de

juego completamente distinto a *Unity*, usado en las asignaturas del máster, y el tiempo del que hemos dispuesto para aprender de forma autónoma ha sido muy breve, lo que ha impedido implementar de momento muchas características que habrían mejorado la experiencia virtual, aunque en términos generales ha llegado a cubrir la necesidad propuesta por el objetivo principal, el de crear un escenario virtual que reaccione al estado de tensión del usuario.

El sistema de bio-feedback encargado de detectar el estado del usuario no funciona con la fiabilidad y presteza adecuada, posiblemente debido a la baja calidad de los materiales empleados, ya que los dispositivos profesionales excedían totalmente el presupuesto del que disponíamos en este trabajo. Por tanto, se puede decir que este objetivo se ha conseguido parcialmente, ya que, si bien la detección del estado de tensión no es precisa, sí que funciona y reacciona dependiendo del nivel de tensión del usuario.

En cuanto a los objetivos secundarios, se ha cumplido totalmente el relativo al aprendizaje del flujo de trabajo de modelado y texturizado para su uso en motores de juego tales como *Unreal Engine*, pero no se ha podido completar al 100% el objetivo de aprender programación en este motor, ya que solo se han podido implementar algunas funciones sencillas.

Se puede concluir que pese a no ser funcional al 100%, este dispositivo, junto a esta experiencia virtual debe ser considerado como un primer prototipo que puede servir como punto de partida para un trabajo futuro orientado a usos como por ejemplo el tratamiento psicoterapéutico para distintos problemas de salud mental tales como fobias o trastornos de ansiedad, mediante entornos virtuales cuya interactividad en tiempo real dependa del estado mental del usuario.

En lo personal, el estado de satisfacción tras la realización de este trabajo es positivo, ya que ha supuesto el aprendizaje y aplicación de una gran cantidad de conceptos y conocimientos adquiridos tanto a lo largo de este máster como de manera autónoma, desde la creación de interfaces

pasando por la creación de entornos tridimensionales, videojuegos, electrónica, etc... que seguirán aplicándose a este proyecto para mejorarlo y ampliarlo, y abre la puerta al estudio y creación de nuevas formas de interacción entre el usuario y los entornos virtuales que sin duda abordaré en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

Dwork, Deborah y Jan Pelt, Robert. *Auschwitz, 1270 to the Present* Zurich; Munich. 2002.

Frankl, Viktor, *El hombre en busca del sentido*. Barcelona: Editorial Herder. 1991.

Gutman, Ysrael y Berenbaum, Michael. *Anatomy of the Auschwitz Death Camp*. Indiana: Indiana University Press. 1998.

Krell, Robert. *Medical and Psychological Effects of Concentration Camps on Holocaust Survivors*. Nueva York: Routledge, 1997.

Longerich, Peter. *Holocaust: The Nazi Persecution and Murder of the Jews*. Oxford: Oxford University Press. 2010.

Moshe Shen, Julie Nicholson, Sara Frenkel y Sally Perel. *Fear Volkswagen*. Wolfsburg: Volkswagen Aktiengesellschaft. 2005.

Paxton, Robert. *Anatomy of Fascism*. Nueva York: Alfred A. Knoff, 2004.

Piper, Franciszek. *Auschwitz, 1940–1945. Central Issues in the History of the Camp. Volume III: Mass Murder*. Auschwitz: Auschwitz-Birkenau State Museum. 2000.

Plutchik, Robert. *Emotion. Theory, research and experience*. Nueva York: Academic press, 1980.

Saltzman, Marc. *Cómo diseñar videojuegos*. Traducido por Verónica Canales y Lorenzo F. Díaz. Barcelona: Norma Editorial, 2001.

Steinbacher, Sybille. *Auschwitz*. Melusina. 2016.

PAPERS

- Aynat, Enrique. "Crematories II and III of Birkenau: A Critical Study". *The Journal of Historical Review* 3 (1988): 303308.
- Baños, Rosa María, Botella, Cristina, Alcañiz, Mariano, Liaño, Víctor, Guerrero, Belén, Rey, Beatriz. "Immersion and emotion: their impact on the sense of presence". *CyberPsychology & Behavior* 7 (6) (2006): 734–741.
- Baños, Rosa María, Botella, Rubió, Isabel, Quero, Soledad, Garcia-Palacios, Azucena, Alcañiz, Mariano. "Presence and emotions in virtual environments: the influence of stereoscopy". *CyberPsychology & Behavior* 11 (1) (2008): 1–8.
- Baños, Rosa María, Etchemendy, Ernestina, Castilla, Diana, Garcia-Palacios, Azucena, Quero, Soledad, Botella, Cristina. "Positive mood induction procedures for virtual environments designed for elderly people". *Interacting with Computers* 24 (3) (2012): 131–138.
- Cabanac, Michel. "What is emotion?". *Behavioural processes* 60 (2002): 69–83.
- Felnhofer, Anna, Kothgassner, Oswald D., Schimdt, Mareike, Heinzle, Anna-Katharina, Beutl, Hlavacs, Helmut, Kryspin-Exner, Ilse. "Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios". *Int. J. Human-Computer Studies* 82 (2015): 48-56.
- García-Palacios, Azucena y Baños, Rosa M. "Eficacia de dos procedimientos de inducción del estado de ánimo e influencia de variables moduladoras". *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica* Vol.4 N.1 (1999): 15-26.
- Kučera, Dalibor y Haviger, Jiří. "Using mood induction procedures in psychological research", *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 69 (2012): 31-40.
- Lombard, Natthaw, Ditton, Theresa, "At the Heart of It All: The Concept of Presence". *Journal of Computer-Mediated Communication* 3 (1997).

Mestre, Daniel R. "Inmersion and presence". *Le trairé de la réalité virtuelle* (2006): 309-338.

P.F. Kellermannm Nathan. "The long-term psychological effects and treatment of holocaust trauma". *Journal of Loss and Trauma* 6 (2011): 197-218.

Schloerb, David. "A Quantitative Measure of Telepresence. Presence". *Presence Teleoperators & Virtual Environments* 4 (1995): 64-80.

Slater, Mel. "Measuring Presence: a response to the witmer and Singer presence questionnaire". *Presence: Virtual and Augmented reality* 8 (1999): 560-565

ARTÍCULOS WEB

"3D modelling: an overview on various techniques". ThePro 3D Studio. Último acceso el día 31 de Mayo de 2019.

<https://professional3dservices.com/blog/3d-modeling-techniques.html>

"Auschwitz as a concentration camp". Auschwitz concentration and extermination camp. Último acceso el día 1 de Junio de 2019.

<http://en.auschwitz.org/lekcja/1/>

"Birkenau Quarantine Latrines". Remember.org. Último acceso el día 10 de Junio de 2019. <http://remember.org/camps/birkenau/bir-latrines-02>

"Fascism in Europe today". Thomas, Mark L. International Socialism. Último acceso el día 16 de Junio de 2019. <http://isj.org.uk/fascism-in-europe-today/>

"Fascism". History of Western Civilization II. Último acceso el día 15 de Junio de 2019. <https://courses.lumenlearning.com/suny-hccc-worldhistory2/chapter/fascism/>

- “Fascism”. OER Services. Último acceso el día 15 de Junio de 2019.
<https://courses.lumenlearning.com/suny-hccc-worldhistory2/chapter/fascism/>
- “History of VR. Timeline of Events and Tech development”. Barnard, Dom. VirtualSpeech. Último acceso el día 16 de Junio de 2019.
<https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- “Life in the camp”. Memorial and museum Auschwitz-Birkenau. Último acceso el día 9 de Junio de 2019.
<http://auschwitz.org/en/history/auschwitz-and-shoah/the-extermination-procedure-in-the-gas-chambers/>
- “MAX30102—how does it work?”. Bourland, Anne-Claire. Hackaday. Último acceso el día 9 de Julio de 2019. <https://hackaday.io/project/26103-preemiealert/log/64833-max30102-how-does-it-work>
- “PBR – Physically based materials” Aprendeunrealengine.com. Último acceso el día 30 de Mayo de 2019.
<http://aprendeunrealengine.com/gamedev/rendering/lighting/2018/03/17/pbr-physically-based-rendering.html>
- “Physically Based Rendering”. Wikipedia. Último acceso el día 30 de Mayo de 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Physically_based_rendering
- “Physically-Based-Rendering, and you can too!”. Marmoset. Último acceso el día 1 de Junio de 2019. <https://marmoset.co/posts/physically-based-rendering-and-you-can-too/>
- “Texture types”. Polycount. Último acceso el día 30 de Mayo de 2019.
http://wiki.polycount.com/wiki/Texture_types
- “The extermination procedure in the gas chambers”. Memorial and museum Auschwitz-Birkenau. Último acceso el día 10 de Junio de 2019.
<http://auschwitz.org/en/history/life-in-the-camp/>
- “The introductory guide to EEG (Electroencephalography)”. Emotiv. Último acceso el día 31 de Mayo de 2019. <https://www.emotiv.com/eeg-guide/>

“The rise of fascism in the 20th century”. Essays. Último acceso el día 15 de Junio de 2019). <https://www.ukessays.com/essays/history/the-rise-of-fascism-in-the-20th-century-history-essay.php?vref=1>

“Understandign metalness”. ChaosGroup. Último acceso el día 30 de Mayo de 2019. <https://www.chaosgroup.com/blog/understanding-metalness>

“UV Mapping”. Wikipedia, Último acceso el día 9 de Junio de 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping

“What is Bio-Feedback and how does it work?”. Very Well Mind. Último acceso el día 10 de Junio de 2019. <https://www.verywellmind.com/what-is-biofeedback-2794875>

ARTÍCULOS DE PERIÓDICOS

Carantoña, Francisco. “El fascismo del siglo XXI ya es una amenaza”. *La voz de Asturias*, 19 de Junio, 2019. <https://www.lavozdeasturias.es/noticia/opinion/2018/06/25/fascismo-siglo-xxi-seria-amenaza/00031529948906059513848.htm>

Pardo, Javier. “La segunda lista negra de VOZ: colectivos LGTBI, perseguidos”. *El Plural*, 1 de Julio, 2019.

OTROS

Encyclopaedia Britannica, 15.a ed., s. v. «Nazism».

García Ferrero, Epifanio. “Auschwitzpark: Proyecto aplicado y análisis de los espacios temáticos”. Trabajo final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València. Último acceso el día 8 de Septiembre de 2019. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12829>

González Garzón, Paula. “Radiografías de lo invisible. La representación visual de la ausencia, las desapariciones forzosas de la guerra civil a través del arte”. Trabajo final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica

de València. Último acceso el día 8 de Septiembre de 2019.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/64455>

Martínez Rosario, Domingo. “La memoria como construcción de la identidad del sujeto contemporáneo en la práctica artística.” Trabajo final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València. Último acceso el día 8 de Septiembre de 2019. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12432>

ANEXOS

Programación Arduinos

Arduino envió datos

```
int cerebroPin = 10;
int pulsoPin = 9;
int gsrPin = 7;
int lucesPin = 6;

int sensorCerebro;
int sensorPulso;
int sensorGsr;
int luces;
int datosFinales;

int leeCerebro;
int leePulso;
int leeGsr;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  Serial.begin(9600);

  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(6, INPUT);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if (digitalRead(2) == HIGH) {
    Serial.println("1");}
  }
  if (digitalRead(3) == HIGH) {
    Serial.println("2");
  }
  if (digitalRead(4) == HIGH) {
    Serial.println("3");
  }
  if (digitalRead(5) == HIGH) {
    Serial.println("4");
  }

  if (digitalRead(6) == HIGH) {
    Serial.println("5");
  }

  delay(1000);

}
```

Arduino controlador de luces

```
#include <SoftwareSerial.h>

#include "FastLED.h"

#define NUM_LEDS 121
#define DATA_PIN 5
#define CLOCK_PIN 13

int pinBajo = 6;
int pinMedio = 7;
int pinAlto = 8;

int bajo;
int medio;
int alto;
int color = 100;

// Define the array of leds
CRGB leds[NUM_LEDS];

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  LEDS.addLeds<WS2812, DATA_PIN, RGB>(leds, NUM_LEDS);
  LEDS.setBrightness(250);
  pinMode(6, INPUT);
  pinMode(7, INPUT);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(9, INPUT);
  pinMode(10, INPUT);
}

void fadeall() {
  for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
    leds[i].nscale8(250);
  }
}

void loop() {
  static uint8_t hue = 0;

  if (digitalRead(6) == HIGH) {
    color = 0;
  }

  if (digitalRead(6) == LOW) {
    color = color;
  }

  if (digitalRead(7) == HIGH) {
    color = 30;
  }

  if (digitalRead(7) == LOW) {
    color = color;
  }

  if (digitalRead(8) == HIGH) {
    color = 60;
  }

  if (digitalRead(8) == LOW) {
    color = color;
  }

  if (digitalRead(9) == HIGH) {
    color = 80;
  }

  if (digitalRead(9) == LOW) {
    color = color;
  }

  if (digitalRead(10) == HIGH) {
    color = 100;
  }

  if (digitalRead(10) == LOW) {
    color = color;
  }

  for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {
    // Set the i'th led to red
    leds[i] = CHSV(color, 255, 255);
    // Show the leds
    FastLED.show();
    // now that we've shown the leds, reset the i'th led to black
    // leds[i] = CRGB::Black;
    fadeall();
    // Wait a little bit before we loop around and do it again
    delay(10);
  }

  Serial.println(digitalRead(8));
}
```

Arduino controlador de sensor galvánico de la piel.

```
const int LED = 13;
const int GSR = A2;
int pinEnvio = 5;
int threshold = 0;
int sensorValue;
int enviadato;

void setup() {
  long sum = 0;
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LED, OUTPUT);
  digitalWrite(LED, LOW);
  delay(1000);
  pinMode(pinEnvio, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);

  for (int i = 0; i < 500; i++)
  {
    sensorValue = analogRead(GSR);
    sum += sensorValue;
    delay(5);
  }
  threshold = sum / 500;
  // Serial.print("threshold =");
  // Serial.println(threshold);
}

void loop() {
  int temp;
  sensorValue = analogRead(GSR);
  // Serial.print("sensorValue=");
  // Serial.println(sensorValue);
  temp = threshold - sensorValue;
  if (abs(temp) > 60)
  {
    sensorValue = analogRead(GSR);
    temp = threshold - sensorValue;
    if (abs(temp) > 60) {
      digitalWrite(LED, HIGH);
      // Serial.println("Emotion Changes Detected!");
      // delay(3000);
      digitalWrite(LED, LOW);
      // delay(1000);
    }

    delay(1000);
    if (sensorValue >= 351) {
      digitalWrite(5, HIGH);
      digitalWrite(6, LOW);
      digitalWrite(7, LOW);
      digitalWrite(8, LOW);
      digitalWrite(9, LOW);
    }

    if (sensorValue <= 350 && sensorValue > 331) {
      digitalWrite(5, LOW);
      digitalWrite(6, HIGH);
      digitalWrite(7, LOW);
      digitalWrite(8, LOW);
      digitalWrite(9, LOW);
    }

    if (sensorValue <= 330 && sensorValue > 301) {
      digitalWrite(5, LOW);
      digitalWrite(6, LOW);
      digitalWrite(7, HIGH);
      digitalWrite(8, LOW);
      digitalWrite(9, LOW);
    }

    if (sensorValue <= 300 && sensorValue > 281) {
      digitalWrite(5, LOW);
      digitalWrite(6, LOW);
      digitalWrite(7, LOW);
      digitalWrite(8, HIGH);
      digitalWrite(9, LOW);
    }

    if (sensorValue <= 280 && sensorValue > 0) {
      digitalWrite(5, LOW);
      digitalWrite(6, LOW);
      digitalWrite(7, LOW);
      digitalWrite(8, LOW);
      digitalWrite(9, HIGH);
    }

    Serial.println(sensorValue);
  }
}
```

Arduino controlador de electroencefalograma

```
byte commandByte;
byte noteByte;
byte velocityByte;

byte noteOn = 144;

//light up led at pin 13 when receiving noteON message with note = 60

void setup() {
  Serial.begin(31250);
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
}

void checkMIDI() {
  do {
    if (Serial.available()) {
      commandByte = Serial.read();//read first byte
      noteByte = Serial.read();//read next byte
      velocityByte = Serial.read();//read final byte
      if (commandByte == noteOn) { //if note on message
        //check if note == 60 and velocity > 0
        if (noteByte >= 35) {
          digitalWrite(13, HIGH); //turn on led
          //Serial.println("caca");
        }
        /*if (noteByte < 40) {
          digitalWrite(13, LOW); //turn on led
        }*/
      }
    }
  }
  while (Serial.available() > 2);//when at least three bytes available
}

void loop() {
  checkMIDI();
  delay(1000);
  digitalWrite(13, LOW); //turn on led
  //Serial.println(noteByte);
}
```

Arduino controlador de sensor de pulso

```
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"

#include "heartRate.h"

MAX30105 particleSensor;

const byte RATE_SIZE = 4; //Increase this for more averaging. 4 is good.
byte rates[RATE_SIZE]; //Array of heart rates
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0; //Time at which the last beat occurred

float beatsPerMinute;
int beatAvg;

int nivelTension;
int pinEnvio = 4;

void setup()
{
  pinMode(pinEnvio, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  // Serial.println("Initializing...");

  // Initialize sensor
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) //Use default I2C port, 400kHz speed
  {
    // Serial.println("MAX30105 was not found. Please check wiring/power. ");
    while (1);
  }
  Serial.println("Place your index finger on the sensor with steady pressure.");

  particleSensor.setup();
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0);
}
```

```

void loop()
{
  long irValue = particleSensor.getIR();

  if (checkForBeat(irValue) == true)
  {
    //We sensed a beat!
    long delta = millis() - lastBeat;
    lastBeat = millis();

    beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);

    if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
    {
      rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute; //Store this reading in the array
      rateSpot %= RATE_SIZE; //Wrap variable

      //Take average of readings
      beatAvg = 0;
      for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
        beatAvg += rates[x];
      beatAvg /= RATE_SIZE;
    }

    if (irValue < 50000)
      Serial.print(" No finger?");

    Serial.println();

    if (beatAvg <= 60){
      Serial.print("1");
    }

    if (beatAvg > 61 && beatAvg <= 70){
      Serial.print("2");
    }
    if (beatAvg > 71 && beatAvg <= 80){
      Serial.print("3");
    }
    if (beatAvg > 81 && beatAvg <= 90){
      Serial.print("4");
    }
    if (beatAvg > 91 && beatAvg <= 100){
      Serial.print("5");
    }

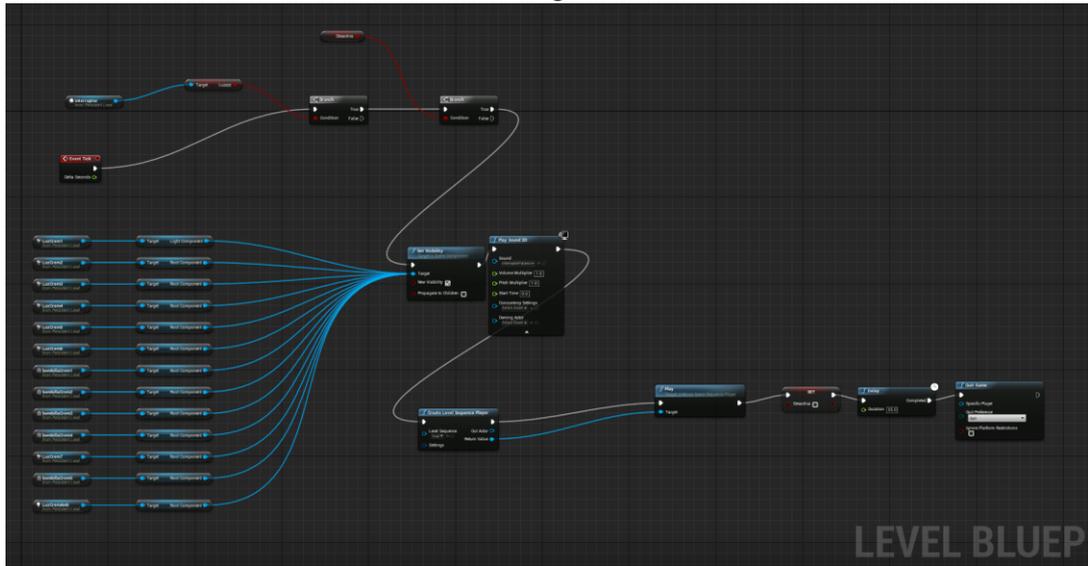
    analogWrite(pinEnvio, nivelTension);

  }
}

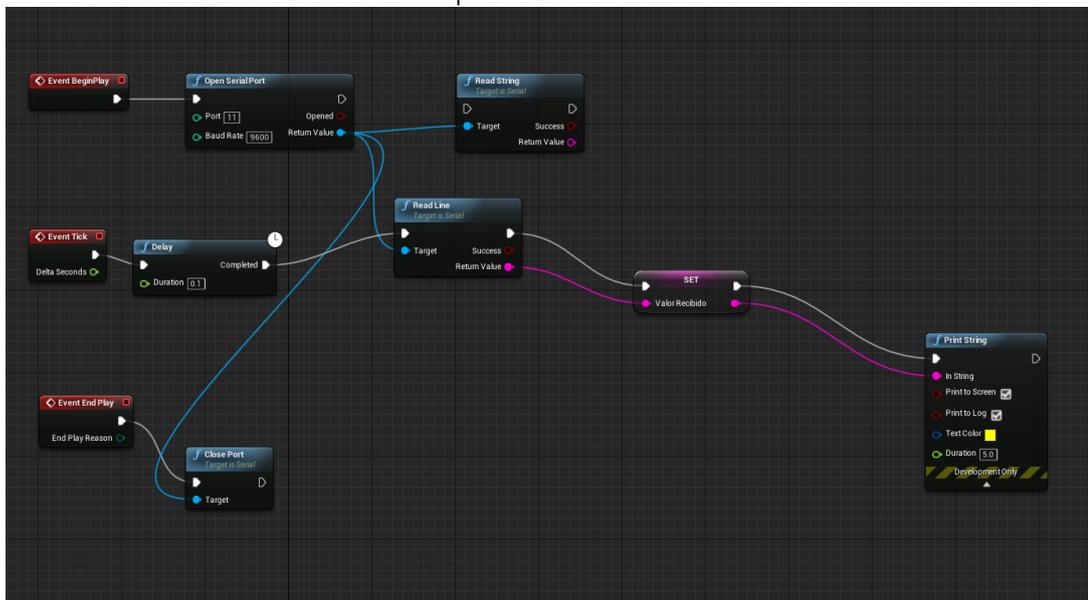
```

PROGRAMACIÓN UNREAL ENGINE

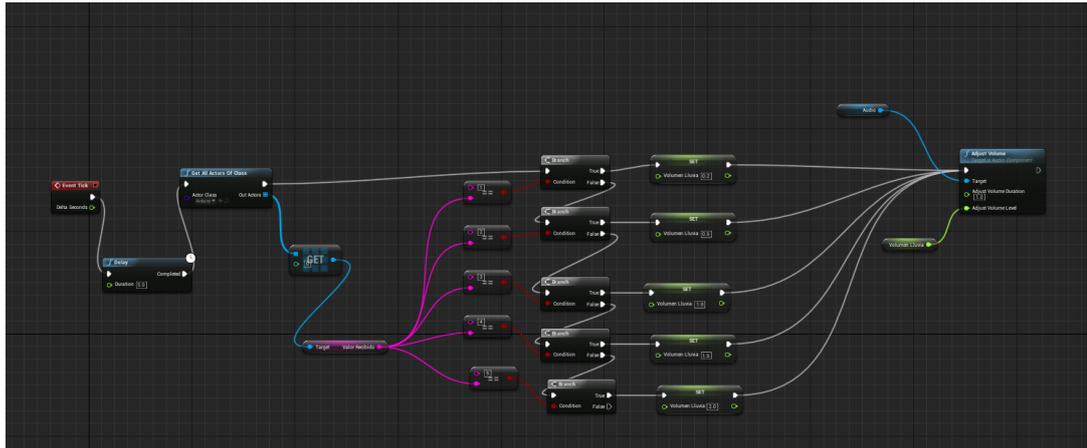
Encendido de luces de la cámara de gas



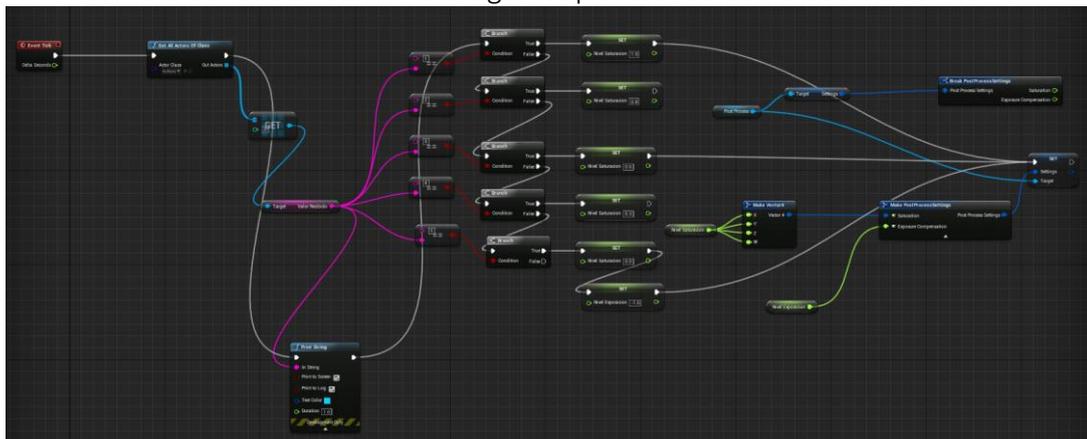
Lectura de datos de Arduino por Serial



Cambio de volumen de la lluvia dependiendo del nivel de tensión



Cambio de la saturación de imagen dependiendo del estado de tensión



IMÁGENES DEL ESCENARIO EN EL MOTOR DE JUEGO

