

**ARB 1.0: ARTEFACTO BIOTENOLÓGICO DE
CÓDIGO ABIERTO BASADO EN BRIÓFITAS
COMO MEDIO DE FILTRACIÓN AMBIENTAL**

Alumno: Antonino Reinoso Bonnefoy
Profesor Guía: Alejandro Durán
Octubre 2020; Santiago de Chile

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la
Pontificia Universidad Católica de Chile para
optar al título profesional de Diseñador



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

DISEÑO | UC
Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Diseño

Octubre 2020; Santiago de Chile

PROYECTO

ARB 1.0: Artefacto biotecnológico de código abierto basado en briófitas como medio de filtración ambiental

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Diseñador

Alumno: Antonino Reinoso Bonnefoy

Profesor Guía: Alejandro Durán



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

DISEÑO | UC
Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Diseño

Agradezco a mi familia, por siempre apoyarme de manera incondicional en todo lo que me he propuesto.

A mi profesor guía Alejandro Durán, por la compañía ferrea, su sabiduría, las eternas conversaciones y creer en mí.

A Josefina, por siempre esta ahí, su cariño y las eternas correcciones que permitieron comunicar de la mejor manera todo el proyecto.

A Camila, Sofía, Antonia, Luis y toda persona que de alguna u otra manera ayudó en el desarrollo de este proyecto.

A todas y todos las y los *makers*, que generan y comparten sus ideas y proyectos solo con el fin de producir más conocimiento.

Índice

08 **Introducción**

13 **Espacios cerrados**

14 Habitar encerrados

16 Contaminación interior

29 **Antecedentes ventilación**

31 Ventilación de espacios interiores

33 Otros casos

37 **Biorremediación**

39 Soporte vital

40 Biorremediar el aire

42 Restauración psicológica

45 Estado del arte

52 **Briófitas**

53 Plantas no vasculares

54 Musgos y sus características

58 Antecedentes

62 **Biorremediador briofitario**

63 Formulación Preliminar

64 Generación de hábitat

68 Experimentación

80 **Estudio de forma**

81 Design for assembly

83 Desarrollo formal

93 Affordance

99 Sistemas abiertos

103 **Formulación**

104 ARB 1.0

105 Objetivos

106 Sistemas

118 **Unidad ecosistémica**

127 **Implementación propuesta I+D**

132 **Referencias**

141 **Anexos**

INTRODUCCIÓN

0

1

01

Introducción

Calidad del espacio público como método de cohesión social

El espacio público es entendido como cualquier parte del territorio donde toda persona pueda moverse libremente, abarcando espacios abiertos o cerrados.

Elke Schlack, bajo una definición jurídica de este, afirma que “el derecho vincula al espacio público con una propiedad pública (*Bien Nacional*), es decir, con el dominio del Estado” (Schlack, 2007). El artículo 589 del Código Civil (2020) define a los bienes nacionales como aquellos cuyo dominio pertenece a la nación entera, entendiéndose que los *bienes nacionales de uso público* son los que pertenecen a todos los habitantes de la nación.

Innerarity (2006) complementa que el espacio público, es “el espacio de la ciudad, de la participación de la gente, los ciudadanos y ciudadanas en asuntos cívicos” (Innerarity, 2006). Bajo esta perspectiva, se comprenderá su amplitud bajo la definición de Borja y Muxí (2000) quienes sostienen que el “espacio público es el espacio de expresión colectiva, de la vida comunitaria, del encuentro y del intercambio

cotidiano” (Borja & Muxí, 2000), por lo que en toda instancia espacial en donde se encuentren los ciudadanos con los bienes nacionales o privados de uso público entrarán dentro de

la definición. Los mismos autores enfatizan en este criterio y plantean que “nada queda al margen de este desafío: bloques de viviendas, centros comerciales, escuelas, equipamientos culturales o sociales, ejes varios, por no nombrar calles y galerías, plazas y parques” (Borja y Muxí, 2000).

Acorde al punto de vista del diseño de servicios, el espacio público sería el punto de contacto entre el administrador (Estado o privados) y los ciudadanos. Cada servicio público que sea ejecutado en los diferentes espacios, corresponde a una necesidad social a satisfacer (Por ejemplo, salud, movilidad, cívica, esparcimiento, entre otros). De esta manera, analizando estos puntos de contacto bajo el análisis de la *ideología del espacio público*, en la óptica de Carrión (2007), “entender la noción de espacio público como ideología es concebirlo como una relación so-



Figura 1: Colapso Línea 5 - La Segunda (2018)

cial, más que como un espacio físico”, la edificación o construcción física y funcional permite un accionar determinado (como la que se podría esperar por ejemplo, en un colegio, notarías o una plaza). No obstante el autor enfatiza que cada estructura “transgrede su funcionalidad explícita y se desarrolla en la conexión de las experiencias y relaciones de cada individuo o grupo que camina, sueña o se manifiesta por allí” (Carrión, 2007).

Por lo tanto, y sumado a la afirmación de que “el espacio público es el de la representación, en el que la sociedad se hace visible” (Borja y Muxí, 2000), es propicio preguntar:

¿Cuál es la relación social que podemos identificar en el espacio público?

Dada esta interrogante como precursora del diálogo, se hace menester plantear el concepto de *cohesión social* como alero para analizar el espacio público. El cual se define como la dialéctica entre mecanismos instituidos de inclusión y exclusión sociales y las respuestas, percep-

ciones y disposiciones de la ciudadanía frente al modo en que ellos operan (CEPAL, 2007). Según Tironi y Bannen (2008), la pregunta por la cohesión social implica la necesidad de una respuesta acerca de las formas de integración y solidaridad social en las sociedades modernas.

Ruíz y Carli (2009) plantean que “a lo largo de la historia de las ciudades, el espacio público ha cumplido un rol central de cohesión social, propiciando la integración de las personas de una misma zona”. Sin embargo, actualmente las ciudades están viviendo transformaciones y tensiones inéditas como la revolución tecnológica, las migraciones, las presiones del mercado y cambios en los modelos productivos. Esto ha ido generando cambios en las ciudades como el crecimiento fragmentado, generador de tensiones y desigualdades, lo que resulta en descohesión social (Enríquez & Sáenz, 2012).

Si se postula que “el espacio público define la calidad de la ciudad, porque indica la calidad de vida de la gente” (Borja y Muxí, 2000), de manera inequívoca se podrían cuestionar cuáles son las condiciones de los espacios públicos que nos rodean.

Desde luego, existe una percepción o asociación de los espacios públicos como algo descuidado, sucio o deteriorado, posiblemente debido al desgaste de estos dado el alto tránsito o constante uso. Las calles, los buses del transporte público, algunas escuelas u hospitales, son espacios que podrían venir a la mente si se plantea la interrogante sobre qué lugares parecen poco higiénicos, mal cuidados o con problemas en su infraestructura.

A pesar de que el espacio puede albergar las funciones del servicio público entregado de manera relativamente adecuada, las condiciones en las cuales se efectúa también deben ser analizadas. Es necesario estudiar no solo si los objetivos de dicho servicio se cumplen o no, sino también el cómo se cumplen. Por ejemplo, la movilidad desde un punto A hacia un punto B en la ciudad, no puede ser evaluada meramente en su efectividad a nivel temporal (A. Durán, comunicación personal, mayo 2020). Si se incluye al ciudadano o usuario en el centro de la ecuación, surgen los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo se traslada? ¿Cuál es la experiencia del ciudadano en su acción de movilizarse? ¿Está cómodo?

“El espacio público define la calidad de la ciudad, porque indica la calidad de vida de la gente”

Borja y Muxí

que también afectan al sentido de pertenencia de la ciudadanía con respecto a lo público, lo que está a su vez íntimamente ligado al nivel de cohesión social (CEPAL, 2007).

Borja y Muxí (2000) proponen que una de las dimensiones decisivas al pensar la ciudad es la calidad de su espacio público. Buscar por medio de ésta, una habilitación de la construcción de confianza, daría pie al sentido de pertenencia, inclusión y diversidad necesaria para la reconstrucción del tejido social afectado por los procesos de individuación, sensación de no pertenencia, inseguridad, desconfianza, búsqueda de homogeneidad y de contacto con iguales (Urry, 2005).

Pierre Bourdieu (1999) declara que “la estructura del espacio social, habitado o apropiado se configura a partir de una jerarquización derivada de un proceso de naturalización histórica de condiciones desiguales, de la distribución de recursos y oportunidades. Por esta razón, si se evidencia una jerarquización social, también habrá una jerarquización del espacio y de la forma en que este se configura”. Una ciudad con sus espacios públicos en mal funcionamiento o mantenimiento, reflejan la ausencia del cumplimiento de las funciones de las administraciones públicas tanto en reparación como en renovación de los bienes de la comunidad. Tal realidad sería una representación clave de lo que Bourdieu llama *jerarquización social y del espacio*.

La mala calidad de los espacios públicos y las grandes diferencias con los de carácter privado, no solo debilitan la construcción de confianza en las administraciones públicas, si no

Ruíz y Carli (2010) definen que la ciudad contemporánea pide que sea propia, segura, funcional y acogedora. Esto se traduce en que el espacio público llegue a ser percibido como un bien común, que las personas se sientan libres de frecuentar sin riesgos para su integridad y que las características físicas del espacio sean adecuadas para su uso, bajo un criterio de funcionalidad y calidad suficiente. Esta mirada permite no solo entender los servicios desde un punto de vista funcionalista, sino también tener al usuario en el foco de estudio con el fin de priorizar cómo vivirá la experiencia de estos.

Mejorar la calidad de los espacios donde se desarrollan los servicios públicos, influiría en la comodidad y bienestar. Problemáticas que repercuten en la equidad, y como consecuencia, en ayudar a crear sentido de pertenencia a través del fortalecimiento y modernización del espacio público.

**ESPACIOS
CERRADOS**

0 2

02.1

Habitar encerrados

Avance social hacia vivir y habitar espacios cerrados

El avance social hacia los espacios cerrados

La búsqueda del ser humano por refugiarse en espacios cerrados, nació en el Neolítico, cuando diversos grupos desarrollaron un estilo de vida sedentario basado en la agricultura. Este nuevo modo de vida significó el desarrollo de viviendas estables (Dennis, 2010), como respuesta a la necesidad de aislarse de factores ambientales y tener cobijo en un aposento. A medida que las sociedades se hicieron más extensas y complejas, comenzaron a surgir los núcleos urbanos.

El tiempo ha pasado y “desde el 2008, y por primera vez en la historia del mundo, más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas” (UNFPA, 2007).

Vivir en un *ecosistema urbano*, genera cambios en los hábitos de vida de la sociedad moderna en la urbe. Estos se ven reflejados en cómo los ciudadanos se enfrentan a una rutina de movilidad reducida durante el día y estancias largas en los lugares que visitan. Los días transcurren en casas, oficinas, colegios, transporte público, lugares donde se hacen trámites, entre otros. Lo cual provoca que la mayoría de las actividades se realicen en espacios confinados, en conse-



Figura 2: Santiago - Rebouças (2020)

cuencia, la vida urbana obliga al ciudadano a vivir más del 80% del tiempo en espacios cerrados (Vargas y Gallego, 2005).

Habitabilidad en espacios cerrados

Esta dinámica social permite el resguardo del exterior. Pero a la vez, al estar aislados del ambiente, se generan externalidades que pueden afectar la habitabilidad saludable dentro de estos espacios. Frente a esta premisa, es inminente plantear la pregunta: ¿En qué puede afectar al ser humano pasar tanto tiempo en espacios cerrados?

Investigadores de la Administración Espacial Aeronáutica de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés) afirmaron en 1989, que desde la existencia de los seres humanos en la Tierra, estos dependen de un sistema de soporte vital que involucra una intrincada relación con plantas y los microorganismos del suelo asociados. Por lo tanto, debería ser obvio que cuando se intenta aislar a los humanos en edificios herméticamente cerrados lejos de este sistema ecológico, surgirán problemas (Wolverton, Johnson & Bounds, 1989).

Al cambiar el ecosistema natural por uno artificial, es necesario suplir todas las necesidades biológicas que tienen los seres humanos, y tener la seguridad de que estas se encuentren suplidas correctamente y sin contaminaciones.

02.2

Contaminación interior

Contaminación ambiental en espacios cerrados, causas y repercusiones para el humano.

Contaminación ambiental en espacios interiores cerrados

Los espacios interiores cerrados han ido cambiando debido a la tendencia de reducir el consumo de energía, lo que produce bajas tasas de ventilación, conllevando a un mayor nivel de concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y contaminantes volátiles (Satish, et al., 2012). Esto se debe a que los edificios antiguos presentan malas calidades de ventilaciones y que en las nuevas construcciones los sistemas de ventilación funcionan en conjunción con el aire acondicionado. Por lo que a menos que existan diferencias de temperaturas muy altas, entre lo ideal para el *estar* humano y el exterior, estos se suelen mantener apagados (Li, Taguchi & Yamashita, 2016), mientras que los puntos de intercambio de aire típicos (puertas y ventanas), usualmente se dejan cerrados para no afectar las temperaturas que se generan artificialmente en los interiores, y por consiguiente ahorrar energía (Allen, et al., 2016).

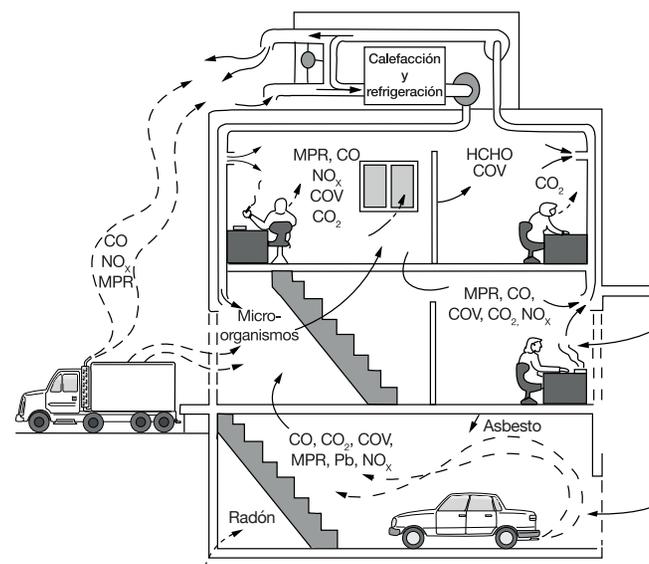
Al haber una reducción del intercambio gaseoso interior-exterior, genera que el aire que se encuentra dentro de los edificios tengan una baja Calidad del Aire Interior (CAI). Esto se debe a la presencia de partículas de CO₂ pro-

ducidas por los ocupantes del espacio y la de Compuestos Volátiles Orgánicos (COV), que incluyen una amplia gama de compuestos gaseosos que pueden ser emanados desde pinturas, materiales de construcción y actividad humana. La suma de estos, potencialmente se acumulan en espacios interiores como contaminantes (Llewellyn & Dixon, 2011).

Síndrome del edificio enfermo

La presencia de COV y de altas concentraciones de partículas por millón (ppm) de CO_2 producen el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) o Sick Building Syndrome (SBS) (Brasche et al., 1999), el cual afecta a las personas presentes en los espacios interiores. Ésta es una afección médica que provoca que los habitantes de un edificio sufran de síntomas de enfermedad o malestar sin razones aparentes (Organización Mundial de la salud, Oficina Regional para Europa, 2008), a causa de que el aire interior a menudo contiene entre 5 a 7 veces más concentraciones de contaminantes que el aire exterior de la ciudad (Brown, Sim, Abramson & Gray, 1994).

Entre los factores que originan los síntomas de este síndrome, está la exposición a la humedad, mala ventilación, descompensación de temperaturas, contaminantes de ambientes, compuestos volátiles, reacciones químicas, la construcción del edificio, los materiales que lo integran, además del uso y poco mantenimiento de los espacios (Campusano, 2012; Narváez, Villa & Martín, 2015).



CO = Monóxido de carbono; CO₂ = Dióxido de Carbono HCHO= Foraldehído; NOx = Óxidos de nitrógeno; Pb = Plomo; MPR = Materia particulada respirable; COV= Compuestos orgánicos volátiles.

Figura 3: Edificios y diferentes fuentes de contaminantes de interior - Solá (2012)

OJOS

Sequedad, picor, lagrimeo y enrojecimiento

VÍAS RESPIRATORIAS ALTAS

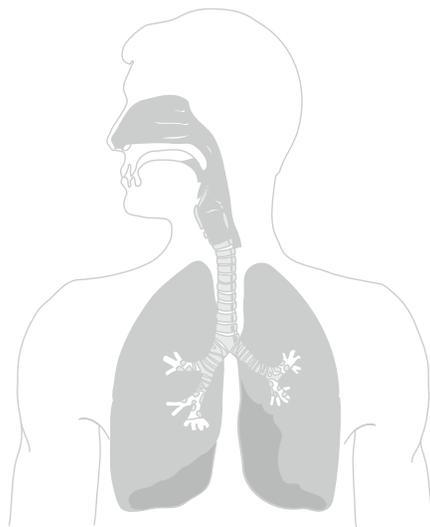
(nariz y garganta) Sequedad, picor, congestión nasal, goteo nasal, estornudos, epistaxis y dolor de garganta.

PULMONES

Opresión torácica, sensación de ahogo, sibilancias, tos seca, bronquitis

PIEL

Enrojecimiento, sequedad, picor generalizado y localizado



GENERAL

Cefalea, debilidad, somnolencia/letargo, dificultad para concentrarse, irritabilidad, ansiedad, náuseas, mareo.



ENFERMEDADES FRECUENTES

Hipersensibilidad

Neumonitis por hipersensibilidad, fiebre por humidificadores, asma, rinitis, dermatitis.

Infecciones

Legionelosis, fiebre de Pontiac, tuberculosis, resfriado común, gripe. De origen químico o físico desconocido, incluido el cáncer.

Los efectos nocivos de estas mezclas han sido reconocidos como componentes del SEE, con síntomas como dolor de cabeza, mareos, náuseas, dolor de ojos y garganta, pérdida de concentración entre otros (Brasche et al., 1999). La evidencia científica indica que desde 1.000 ppm de CO₂ en el ambiente, comienza a representar un daño para las personas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el SEE afecta al 70% de las construcciones chilenas (Campusano, 2012). El profesor Juan Luis Ramírez, presidente del Comité Tecnológico del Colegio de Arquitectos en 2012, explica que los inversionistas “no están dispuestos a invertir en edificaciones inteligentes y sólo costean la cáscara y espacios amplios para rentabilizar mejor los recintos” (Campusano, 2012), y añade que los edificios “no están concebidos con las ventilaciones adecuadas, asoleamientos, iluminación, acústica, conservación térmica, ni materialidad correcta ante la humedad”.

Una de las grandes problemáticas del SEE, es que los humanos no están capacitados para poder

Figura 4: Síntomas y enfermedades relacionados con CAI - Solá (2012)

identificar la mala calidad de aire, a pesar de lo imprescindible que es poder respirar aire limpio. Megan Schires (2019) comenta que “los seres humanos pueden sobrevivir hasta 30 días sin comer y 3 días sin beber, pero sólo 3 minutos sin respirar. Nuestra necesidad de aire también es constante, confiamos en él en todo momento en interiores y exteriores, aunque a menudo puede ser menos limpio de lo que esperamos” (Schires, 2019). No obstante, es difícil para el humano percibir una mala calidad del aire de la misma manera que podría darse cuenta que un espacio está sucio. La autora lo argumenta definiendo que “los olores desagradables nos hacen conscientes de la mala calidad del aire, pero muchos agentes irritantes y gases no saludables no son detectables por el olfato y, al mismo tiempo, afectan nuestra salud” (Schires, 2019).

Dado que los humanos producen dióxido de carbono, las concentraciones de este químico en los espacios interiores ocupados son más altas que las del exterior (Satish, et al., 2012). Así, entre más personas haya en un lugar determinado con escasa ventilación, habrá un aumento en la saturación de CO₂ en el espacio y por ende, el aire inhalado por las personas tendrá una mayor concentración al dióxido de carbono.

Los niveles atmosféricos de CO₂ en 2020 son aproximadamente de 417 ppm (Global Monitoring Laboratory, 2020). Las concentraciones de CO₂ dentro de los edificios varían desde los niveles en el exterior hasta varios miles de partes por millón (Persily & Gorfain, 2008). Puesto que el aire exhalado por una persona es de alrededor de 40.000 ppm de dióxido de carbono, es difícil no ver por

qué los niveles de CO₂ pueden aumentar rápidamente dentro de entornos de alta ocupación y cerrados (Llewellyn & Dixon, 2011).

Es por esto que las concentraciones de dióxido de carbono en ambientes interiores, convencionalmente, son uno de los principales parámetros para determinar las tasas de ventilación de los edificios (Zhang & Smith, 2003), ya que si la entrada de aire fresco es reducida, se puede provocar la acumulación de gases contaminantes en el interior. Sin embargo, hoy en día también se entiende no sólo como un factor de calidad ambiental, si no que como un factor en sí mismo que puede hacer daño al humano, lo que lleva a una variedad de preocupaciones en la salud de las personas que frecuentan el espacio (Llewellyn & Dixon, 2001).

“los seres humanos pueden
sobrevivir hasta 30 días sin
comer y 3 días sin beber, pero
sólo 3 minutos sin respirar”

Megan Schires (2019)

Dióxido de carbono y toma de decisiones

Caso de investigación 1: Berkeley University

Investigaciones del Lawrence Berkeley National Laboratory demuestran una significativa reducción en el desempeño de toma de decisiones en los sujetos de estudio al exponerlos a distintos niveles de CO₂, disminuyendo sus funciones cognitivas a medida que la concentración del dióxido de carbono aumenta (Satish et al., 2012).

En el estudio se analizaron las respuestas de personas al estar enfrentados a 3 diferentes condiciones en una cámara ambiental controlada, equipada como una oficina. Las concentraciones de CO₂ a las que fueron expuestos los individuos eran aproximadamente de 600, 1.000 y 2.500 ppm. Durante cada exposición, los participantes realizaron una prueba por computador que medía el rendimiento en la toma de decisiones en 9 tipos de tareas distintas, mediante el uso del software Strategic Management Simulation (SMS), la cual es una prueba validada por computador que ha sido diseñada para probar la efectividad de los empleados por medio de la evaluación de la toma de decisiones de orden superior (Satish et al., 2012). Las distintas evaluaciones responden a los dominios cognitivos (figura 5) evaluados. Los resultados (figura 6) arrojaron que en 6 de las 9 categorías de toma de decisiones disminuyó moderadamente. De manera significativa a los 1.000 ppm en relación la línea de base de los 600 ppm, y 7 disminuyeron sustancialmente a los 2.500 ppm (Satish et al., 2012).

Dominio Función Cognitiva	Descripción
Nivel de Actividad Básica	Capacidad para tomar decisiones a todas horas
Nivel de Actividad Aplicada	Capacidad para tomar que están orientadas a objetivos finales
Nivel de Actividad Focalizada	Capacidad para tomar atención a situaciones que se presenten
Tarea Orientada	Capacidad para tomar decisiones específicas orientadas a situaciones que se presenten
Respuesta a Crisis	Habilidad para planear, estar preparado y elaborar estrategias en situaciones de emergencia
Búsqueda de Información	Capacidad para reunir la información necesaria a partir de diferentes fuentes disponibles
Uso de Información	Capacidad para utilizar información proporcionada y la que se recopile para alcanzar las metas generales
Amplitud de Enfoque	Capacidad para tomar decisiones en múltiples dimensiones y utilizar una variedad de opciones y oportunidades para lograr metas.
Estrategia	Parámetro de pensamiento complejo que reflejan la capacidad de utilizar soluciones integradas con la ayuda de un uso óptimo de la información y la planificación.

Figura 5: Dominios de SMS - Satish et al. (2016)

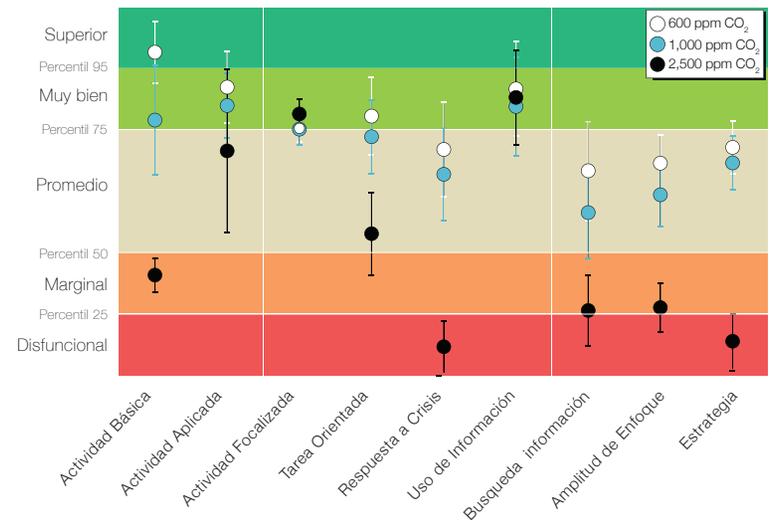


Figura 6: Resultados investigación - Satish et al. (2012)

Caso de investigación 2: Harvard University

Bajo la misma temática de estudio del caso anterior, científicos de la Universidad de Harvard publicaron en 2016 un artículo en el cual se presentan los resultados de una medición del desempeño humano en relación a la función cognitiva en simulaciones de condiciones de calidad del aire interior en edificios “verdes” y “convencionales” (Allen et al, 2016), para poder identificar si las diferencias son significativas.

La metodología consistió en una muestra de 24 participantes que pasaron 6 días completos de trabajo (8 horas) en un espacio de oficina controlado ambientalmente. En diferentes días, fueron expuestos a condiciones CAI representativas de edificios de oficinas convencionales (altas concentraciones de COV) y verdes (bajas concentraciones de COV) de Estados Unidos, descritas como Edificio Convencional y Edificio Verde respectivamente. Las condiciones adicionales simularon un edificio ecológico con una alta tasa de ventilación de aire exterior (etiquetada como Edificio Verde +) y niveles de dióxido de carbono artificialmente elevados independientemente de la ventilación (Satish et al, 2016). Las condiciones ambientales interiores promedio simuladas en cada sala de laboratorio se encuentran descritas en la *figura 7*.

En este estudio se midió la capacidad de toma de decisiones con el software SMS, la misma herramienta usada en el caso antes citado. Como se muestra en *figura 8*, los resultados indicaron que las puntuaciones en todos los dominios de función cognitiva evaluados, son

Variable	Día 1 Verde +	Día 2 CO ₂ Moderado	Día 3 Alto CO ₂	Día 4 Verde	Día 5 Convencional	Día 6 Verde +
Parámetros Experimentales						
CO2 (ppm)	609	962	1.420	761	921	488
Ventilación de aire (m ₃ /h / persona)	40	40	40	20	20	40
TCOV (µg/m ₃)	38,5	28,6	29,8	48,5	666	14,9
Otros parámetros ambientales						
Temperatura (°C)	24,5	23,9	22,0	22,9	22,5	21,3
Humedad Relativa (%)	30,4	31,6	38,3	34,3	38,3	26,8
NO ₂ (µg/m ₃)	58,9	54,1	58,4	51,3	50,8	55,5
O ₃ (µg/m ₃)	21,2	13,0	0,00	6,85	1,37	6,85
MP _{2,5} (µg/m ₃)	3,49	2,58	2,42	1,26	1,34	1,38
Ruido (dB)	49,9	48,8	48,8	49,6	48,8	49,2
Iluminación (mV)	2,70	2,83	2,04	3,11	2,51	2,28

Abreviaciones: TCOV = Total Compuestos Volátiles Orgánicos; MP_{2,5} = Material Particulado de 2,5 micrómetros

Figura 7: Condiciones ambientales interiores simuladas - Satish et al. (2016)

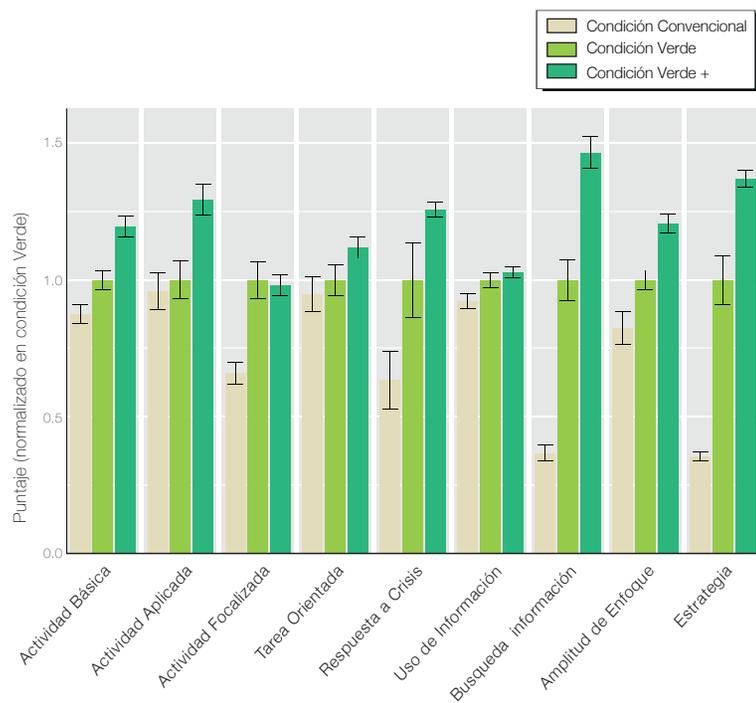


Figura 8: Puntuaciones promedio de función cognitiva - Satish et al. (2016)

mayores en el caso del Edificio Verde en comparación al Convencional. En promedio, las puntuaciones cognitivas fueron un 61% más altas en el día del Edificio Verde y un 101% más en las mediciones de Edificio Verde +, que en el día de control. Las mayores diferencias fueron en los dominios de respuesta a crisis, uso de información y estrategia. En la primera, los puntajes fueron un 97% más alto en durante la evaluación de la condición Verde en comparación a la condición Convencional, y 131% más altos en la condición Verde+ (Satish, et al., 2016).

Además, los investigadores concluyeron que la exposición a CO₂ y COV en los niveles que se encuentran en los edificios de oficinas convencionales se asoció con puntuaciones cognitivas más bajas, que las vinculadas con los niveles de estos compuestos presentes en un edificio ecológico.



Figura 9: Elaboración Propia (2019)

Recomendaciones internacionales

Ante la evidencia en torno a las repercusiones que provocan espacios interiores contaminados ambientalmente, diversas organizaciones de salud internacionales han establecido límites de saturación de CO₂ en espacios cerrados. La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) establece que la concentración máxima permitida debe ser bajo los 1.000 ppm de CO₂ en los espacios interiores, debido a que mayores concentraciones pueden comenzar a afectar la salud de los habitantes del espacio (ASHRAE, 1999).



Figura 10: Registro Civil - 24 horas (2017)

Saturación de CO₂ en diversos casos de investigación de espacios interiores cerrados

A continuación se presentan diferentes casos de investigación empírica sobre la relación entre ocupación por personas, volumen de espacio y saturación de dióxido de carbono en espacios interiores cerrados.

Colegios:

En un estudio publicado por el Journal of Toxicology and Environmental Health (2012), se realizaron mediciones en salas de clases de colegios, donde cada salón tenía un área total de 52,5 m² y 25 niños en cada uno. Durante 3 semanas y en rangos de 8 horas diarias, se midió la calidad ambiental de cada aula.

Los resultados arrojaron que los niveles de CO₂ orbitaron promedio entre los 2004 ± 580 ppm y las concentraciones de COV durante los períodos de enseñanza oscilaron entre 933 ± 577 µg (Pegas et al., 2012).

Satish et al., en 2002, presentaron un experimento de monitoreo de CO₂ en 115 aulas de escuelas primarias en Texas, Estados Unidos. Donde los resultados evidenciaron que la concentración promedio de dióxido de carbono durante todo el tiempo de medición excedió los 1.000 ppm en el 66% de las salas de clases. Límite que se podía superar luego de 60 minutos que los estudiantes entraran a clases. Además, la máxima de CO₂ excedió los 1.000 ppm en el 88% de las aulas y 3.000 ppm en el 21% de los casos.

Metro:

Se hizo una investigación en el principal medio de transporte de la capital de Chile, el Metro de Santiago. El experimento consistió en la medición de partículas por millón de dióxido de carbono dentro de las estaciones subterráneas y vagones de dicho transporte. La herramienta de medición fue un prototipo accionado con una placa Arduino UNO y un sensor de CO₂ MG-811. (Visitar *anexo 1* para electrónica del prototipo realizado).

El estudio se enfocó en las condiciones de los espacios antes descritos en la Línea 1 de dicho servicio, donde según el reporte anual de Metro, se concentra el 38% de los viajes que se realizan en todo el sistema (Metro de Santiago,

la concentración promedio
de dióxido de carbono
durante toda la medición se
excedió los 1.000 ppm en el
66% de las salas de clases

Satish et al. (2002)

2018). Fue realizado en noviembre de 2019, entre las 18:21 y las 18:48 horas.

Se escogió este fragmento de un día laboral porque es parte del “horario punta”, el cual comprende un total de 4 horas y contempla el 30,1% de los viajes diarios (Metro de Santiago, 2018) lo que representa alrededor de 200.400 viajes por hora.

Este alto flujo de tránsito de personas durante la “hora punta”, repercute en el aumento de densidad de personas dentro de los vagones, el cual llega a ser de hasta a 6 personas por metro cuadrado. Aunque el nivel “óptimo” de hacinamiento que es tolerado por un pasajero es de máximo 3 personas por metro cuadrado (Tirachini, Hensher & Rose, 2013).

Los resultados demostraron que de las 27 estaciones de la Línea 1, medidas en horario punta, 15 estaban en el rango de 1.000 a 2.000 ppm y 2 (Metro Tobalaba y Universidad de Chile) por sobre los 2.000 ppm (resultados en *figura 12*).

Producción de CO₂ por persona

En un estudio realizado por Ii, Taguchi & Yamashita (2016) hicieron una medición de ppm de CO₂ en una habitación de 23,5 m³ con ventanas y puertas cerradas. Los datos mostraron que luego de 100 minutos, hubo un aumento de concentración de CO₂ desde los 300 a los 1300 ppm. La producción de CO₂ se define en base a la ecuación:



Figura 11: Medidor CO₂ - Elaboración Personal (2019)



Figura 12: Ppm CO₂ línea 1 Metro de Santiago - Elaboración Personal (2019)

$$\frac{\text{Cambio de ppm CO}_2 \cdot \text{Volumen habitación}}{\text{Tiempo} \cdot \text{Número de personas}}$$

Produciendo entre $0,02 \pm 0,01 \text{ m}^3/\text{hora}$ de CO_2 . Este número depende del tipo de acción que la persona esté realizando, si la actividad ejecutada es más intensa, habrán más exhalaciones por minuto. En consecuencia, mayor producción de CO_2 por hora.

En el mismo artículo, se exponen resultados de un experimento similar en la Universidad de Wakayama, Japón. Donde ubicaron a 80 estudiantes a realizar ejercicios de lectura en una sala de clases de 416 m^3 . Tras 90 minutos, el aumento en las concentraciones de dióxido de carbono subieron desde 1.200 a 4.400 ppm aproximadamente.

Conclusiones

Los resultados de estos estudios, demuestran que en general los espacios interiores suelen estar bajo condiciones atmosféricas adversas para los ocupantes, las que son perjudiciales para su salud. Además, como la calidad del aire es una cualidad difícil de medir, los espacios usualmente regulan poco esta condición, por tanto, es muy difícil para las personas notar si los espacios están contaminados.

Los espacios públicos interiores, pueden tener estándares de limpieza visual y de superficies bastante minuciosos, como es el caso de Metro de Santiago, que tiene rutinas de higienización

periódicas reiteradas veces al día. Cada vez que un tren llega a la estación terminal, se recoge la basura que dejan los pasajeros y se asea el suelo de los vagones. No obstante, estos procedimientos de limpieza están enfocados a la polución visible, con lo cual se omite la contaminación ambiental, la cual se evidencia en los malos olores que existen en estos espacios. Asimismo, existen malas condiciones que son imperceptibles.

Como este ejemplo, existen muchos casos parecidos. Una de las consecuencias de esta situación, es que en los espacios interiores públicos con alto tráfico, suelen tener malos olores o aire “pesado”. Estos son una manifestación de los altos índices de CO_2 y COV, provocado por la mala ventilación de estos sitios.

En 2014, la doctora Iskia Siches, Presidenta del Consejo Regional de Santiago del Colegio Médico de Chile, entrevistada a raíz de que cada vez son más comunes las crisis de pánico, mareos y sensación de falta de oxígeno entre quienes se transportan en hora punta en el Metro de Santiago, aseguró que: “Todo lo que tiene que ver con las crisis de pánico, el estrés laboral y la sobrecarga de trabajo puede devenir en un infarto”, aseguró en una entrevista, la Presidenta del Colegio Médico de Chile, Iskia Siches, a propósito del aumento de malestares físicos, mareos y sensación de falta de oxígeno por parte de quienes usan el Metro de Santiago se en hora punta. Ante esta problemática ambiental, causada por estar en dicho espacio con mal ventilado, la médica añade que “debemos mejorar las condiciones ambientales que generan esos síntomas y ahí tenemos a gente que tiene contraindicado subirse al Metro. Eso limita la vida de las personas” (El Desconcierto, 2014).

Contaminación ambiental como determinante social de la salud

En Europa, un equipo de expertos liderado por Sir Michael Marmot publicaron *The Marmot Review* (2010), un texto que constata la existencia de un gradiente social de la salud, es decir, cuanto más baja la clase social, peor su salud y manifiesta la necesidad de actuar sobre los Determinantes Sociales de la Salud, por medio de un trabajo con enfoque de *universalismo proporcional*, que son acciones dirigidas hacia todas las personas, pero atención focalizada hacia los grupos con mayores desventajas. Como resultado, se logran reducir las inequidades en salud.

Uno de los 6 objetivos políticos planteados por Marmot, está crear buenas condiciones de trabajo y asegurar un buen entorno de vida y medio ambiente, (como se menciona en Ferrelli, 2015). Así, se potencia la cohesión a través de la integración social, la que se entiende como “el proceso dinámico y multifactorial que posibilita a las personas a participar del nivel mínimo de bienestar que es consistente con el desarrollo alcanzado en un determinado país” (Ferrelli, 2015).

Si el estar de las personas en espacios interiores que usan diariamente, no es agradable y encima, están contaminados, afecta su salud. El punto de contacto espacial, determinado por el Estado o institución privada que entrega un servicio tendría problemáticas, alejando al ciudadano o usuario. Esto afecta su comodidad al pasar por el lugar, y por consiguiente, también se reduce el sentido de pertenencia que este tiene. Por ello, es necesario trabajar sobre la “salud ambiental” (Vargas & Gallego, 2005) de los espacios para

poder entregar condiciones mínimas a los ocupantes de los espacios públicos interiores, y así reemplazar el soporte vital que realiza la naturaleza en el exterior, dado que si los interiores presentan una mala atmósfera, serán un espacio público que afecta a sus usuarios.

ANTECEDENTES VENTILACIÓN

03

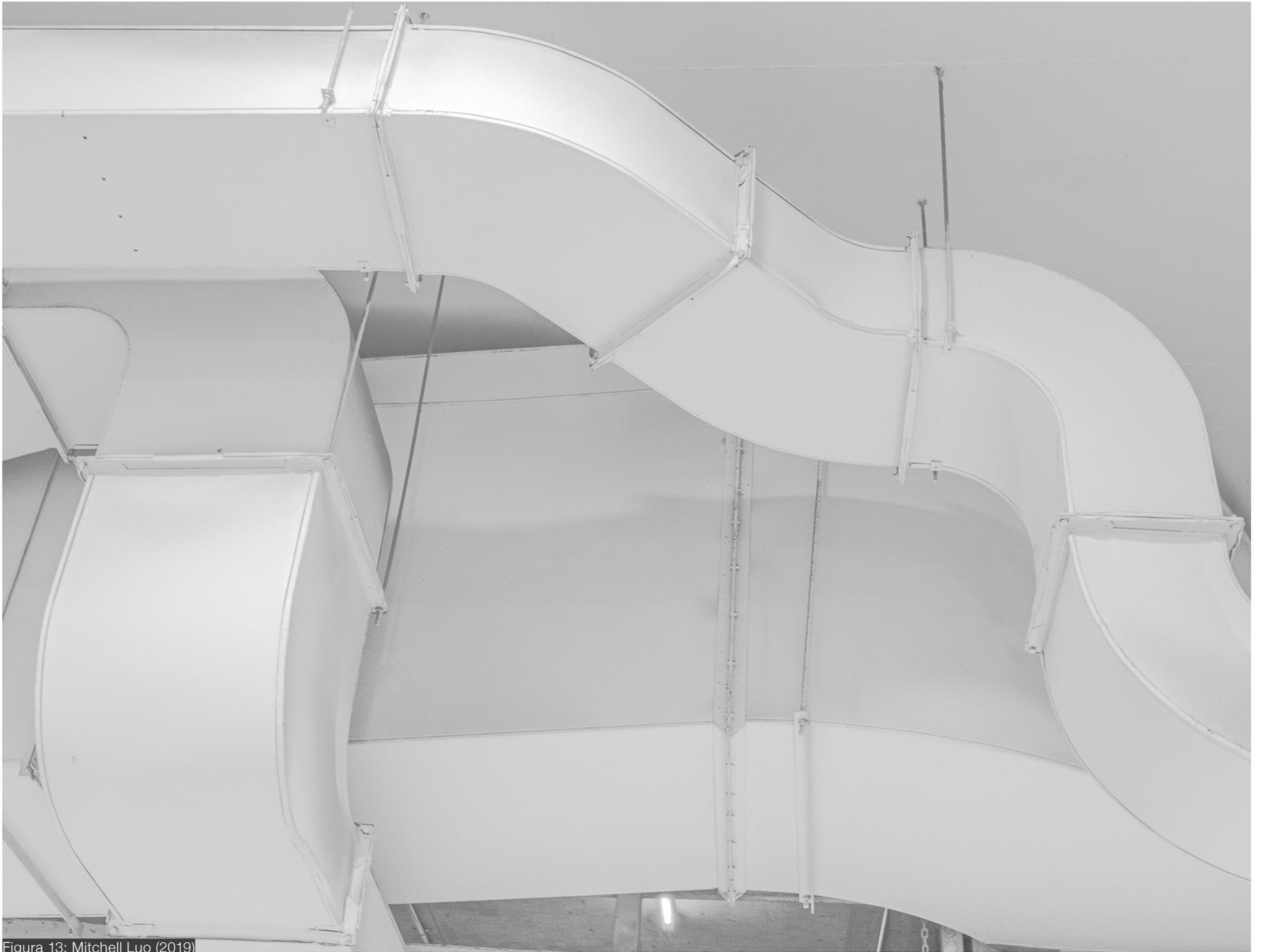


Figura 13: Mitchell Luo (2019)

03.1

Ventilación de espacios interiores

La evidencia científica interpela a diseñar espacios interiores capaces de proveer de buenos índices de calidad de aire para sus ocupantes, ya sea a través de la limpieza o del intercambio de este con el exterior.

Estudiar el funcionamiento de los sistemas de ventilación comunes en edificios, significa determinar la medición del caudal de intercambio de aire con el exterior. Este, estará determinado por la relación entre la tasa de generación de dióxido de carbono en litros por segundo por cada ocupante del espacio, la concentración de CO₂ en el interior y la misma en el exterior. En base a este cálculo, instituciones como el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, establece que el caudal de ventilación debe ser de 7,5 litros/segundo por persona (Subils & Domínguez, 2000).

Los sistemas de ventilación actuales tienden a utilizar ventilación natural, mecánica o un híbrido. La clave para elegir un sistema, en relación con la CAI, son las frecuencias de cambio de

aire, las cuales deben ser altas y con un suministro entrante que sea limpio (Schires, 2019).

Ventilación natural

Es la ventilación donde la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de diferencias de temperaturas. Se habla de ventilación natural cuando no hay aporte mecánico para lograr el cambio del aire. Normalmente, se logra dejando puertas o ventanas abiertas que comuniquen con el exterior (Cronembold, 2009).

El principal inconveniente de este tipo de ventilación es que no es regulable, por que la tasa de renovación no está controlada, por lo que no siempre es suficiente. Asimismo, muchos lugares no están facultados para ejercerla, a causa de las condiciones exteriores que pueden tener altos niveles de contaminación, ruido o diferencias de temperaturas muy altas en relación a los mínimos de confort (Schires, 2019).

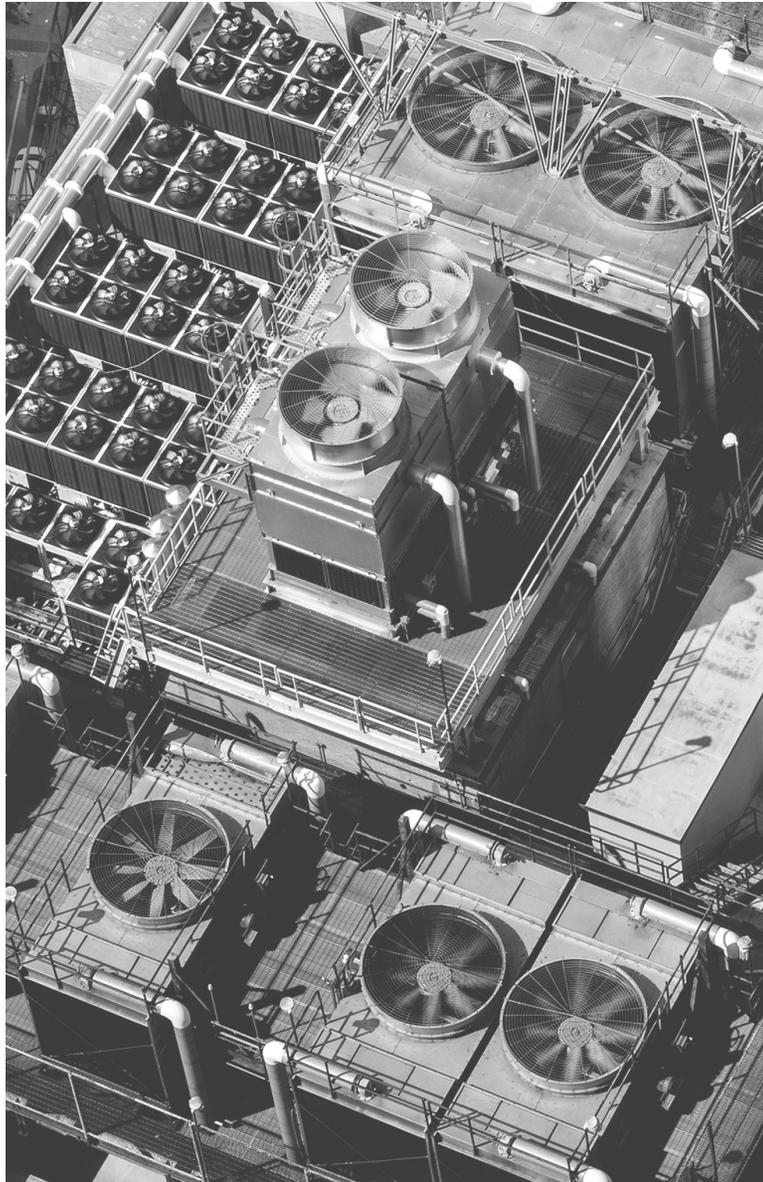


Figura 14: Sergei Akulich (2018)

Ventilación mecánica

Es la ventilación construida mediante la creación artificial de depresiones o distribución de aire. Éstas se arman con ventiladores, extractores, unidades de tratamiento u otros tipos de elementos accionados mecánicamente. Pueden ser accionados por sensores de contaminantes o regulados por períodos. No obstante, necesitan de constante mantenimiento, puesto que sin ello, estos pueden no filtrar correctamente el aire (Cronembold, 2009), lo cual significa un costo fijo al sistema.

La problemática que suscitan estos sistemas en primer lugar es el costo y el segundo, es que en la arquitectura moderna, normalmente están adicionados al sistema de calefacción de los espacios, por lo que en épocas donde las temperaturas no son tan extremas (otoño y primavera), se utilizan con menor frecuencia.

Sistemas híbridos

Es un cruce entre la ventilación natural y la ventilación mecánica, que consiste en utilizar componentes de la segunda para dar mayor fuerza a los motores naturales. Además, permite que cuando el sistema natural no es suficiente, el sistema mecánico lo reemplaza sin verse interrumpida la acción renovadora de aire.

03.2

Otros casos

Los casos anteriormente presentados, responden a sistemas que se usan en edificios o viviendas. Espacios que pueden llegar a presentar problemas de renovación de aire en caso de que el modo implementado no logre llegar a las tasas mínimas de caudal de aire renovado necesarias.

Para profundizar en el análisis, se investigó qué sistemas se utilizan en espacios que por sus condiciones de saturación de aire y entornos imposibilitados de contar con ventilación natural, deben hacer uso de sistemas asistidos de renovación del aire. A continuación, se explican los distintos sistemas usados en minas, submarinos, y estaciones espaciales.

Minas:

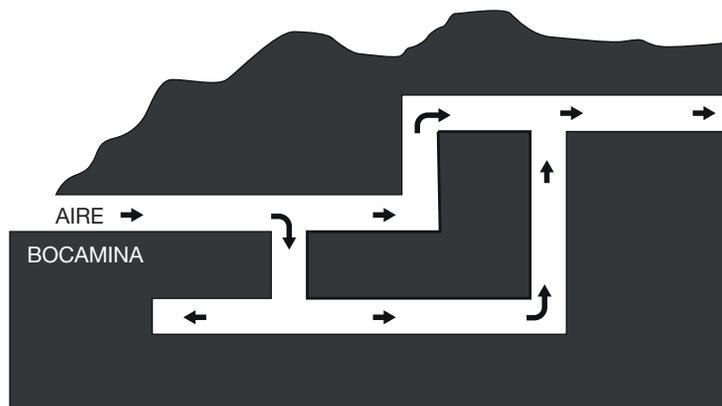
En la planificación del funcionamiento de las minas subterráneas, es necesario que se suministre aire fresco dentro de ellas, con los objetivos de lograr condiciones ambientales y termo-am-

bientales adecuadas para el personal, proporcionar el volumen de aire para los equipos de diésel, evitar la formación de mezclas explosivas, reducir temperaturas, diluir y extraer gases tóxicos y polvo en suspensión. Estas necesidades nacen por que el aire en las minas puede contener diferentes contaminantes que son producidos por la respiración del personal, uso de explosivos, la descompensación de las sustancias orgánicas, reacciones químicas de los minerales y el uso de equipos con motores de combustión interna.

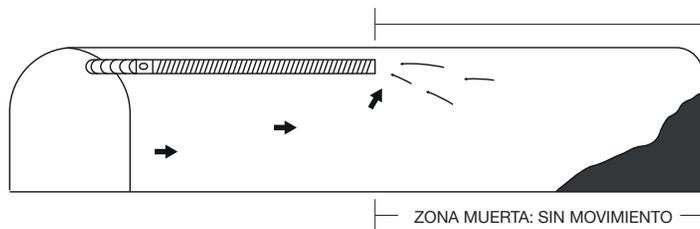
Como existe esta necesidad de intercambio de aire en las tierras subterráneas, el Departamento de Seguridad Minera del Ministerio de Minería de Chile (2008), determina dos tipos de sistemas de ventilación posibles dentro de las minas, la natural y la auxiliar.

Ventilación natural:

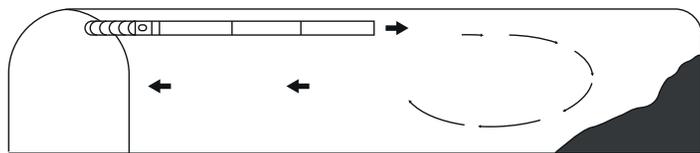
La energía menos costosa y abundante en la naturaleza es el aire, que puede emplearse como sistema de ventilación en las minas sub-



VENTILACIÓN NATURAL



SISTEMA ASPIRANTE



SISTEMA IMPELENTE

Figura 15: Sistemas de ventilación minas - Andrade (2008)

terráneas. El aire exterior se introduce por la bocamina principal y recorre la totalidad del circuito de ventilación hasta la salida, lo que permite un intercambio fluido y constante del aire.

Pero, igual que en el caso de los edificios, la ventilación natural es un fenómeno inestable y fluctuante, es por esto que en ninguna faena moderna debe utilizarse como medio único y confiable para ventilar sus operaciones (Andrade, 2008).

Ventilación auxiliar:

La ventilación auxiliar o secundaria, es definida como aquellos sistemas que, por medio de ductos y ventiladores auxiliares, airean áreas restringidas de la mina, empleando circuitos de alimentación de aire fresco y evacuación del aire viciado. Existen tres tipos de sistemas de ventilación auxiliar:

1. *Sistema impelente:* El aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado.

2. *Sistema aspirante*: El aire fresco ingresa a la frente^[1] por la galería y el contaminado es extraído por la ductería.

3. *Sistema combinado*: Este sistema emplea dos tendidos de ductería, una para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio a la frente en avance. Asimismo, reúne las ventajas de los dos tipos básicos (impelente y aspirante), en cuanto a mantener la galería y la frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con la desventaja de su mayor costo de instalación y manutención.

Submarinos

Los submarinos son navíos o buques capaces de navegar bajo el agua durante meses. Para lograr dicha hazaña, es necesario que generen oxígeno constantemente, para permitir la respiración de los tripulantes y la eliminación de gases contaminantes dentro de ellos.

El primer procedimiento se realiza a través de la electrólisis del agua, proceso que permite separar el hidrógeno (H₂) del oxígeno (O₂) para liberar este último dentro de la cabina.

Para controlar la atmósfera y regular las concentraciones de dióxido de carbono a bordo, cuentan con absorbedores de CO₂. Estos se constituyen por recipientes plásticos rellenos de Cal-Soda, un absorbente natural de CO₂, que está compuesta por un 90% de hidróxido de sodio y un 10% de hidróxido de calcio.

Los recipientes se colocan en un dispositivo especial acoplado al sistema de ventilación, lo que obliga al aire circulante a pasar través de ellos, los que atrapan al contaminante. Este proceso se activa cuando hay concentraciones de CO₂ sobre los 1.000 ppm y se mantiene hasta que la concentración del gas llegue a los 800 ppm, para prevenir efectos adversos en los tripulantes.

Estaciones espaciales

Los equipos empleados en la regulación atmosférica en las estaciones espaciales son los más complejos y completos, ya que transportar tanques de oxígeno al espacio es costoso y significa grandes volúmenes para poder almacenarlo. Además, botar el dióxido de carbono al espacio es una eventual pérdida de recursos.

La NASA, en su artículo "Closing the Loop: Recycling Water and air in Space"^[2] presenta el sistema diseñado para poder tener una utilización circular del agua, oxígeno y dióxido de carbono y a la vez, evitar la acumulación de gases contaminantes.

La primera etapa de este proceso, es la obtención de oxígeno por medio del sistema Oxygen Generation System, donde una máquina mediante procesos químicos, convierte el agua que ya no es útil (orina, el de las vasijas del baño y el producido por la condensación) en oxígeno.

Al igual que en los submarinos, el proceso utilizado para la separación de los elementos, es la electrólisis. En este caso, el O₂ se libera en la

↳ [1] Frente:
Zona de labor
en una mina en
donde se
trabaja para su
excavación.

↳ [2]
"Cerrando el
ciclo:
Reciclado
agua y aire en
el espacio".

BIORREMEDIACIÓN

04



Figura 17: Kyle Thompson (2018)

04.1

Soporte Vital

Plantas y soporte vital para seres vivos

A partir de lo presentado en el capítulo 2, sobre los espacios cerrados y la reflexión que plantearon los investigadores de la NASA, Wolverton, Johnson y Bounds en 1989, en cuanto a la estrecha relación entre las plantas y los humanos, en torno a los efectos negativos que tendrían estos sobre la aislación hermética del sistema ecológico. Cabe destacar lo que postulan respecto a que para vivir en ambientes cerrados es necesario incluir a la naturaleza para que cumpla su función de soporte vital.

La idea de que el exterior proporciona un sistema de soporte vital para los animales, comenzó en el siglo XVIII. Cuando Joseph Priestley, descubrió la particular influencia de diferentes seres vivos en la calidad del aire, mientras estudiaba sus propiedades.

El científico y teólogo británico, a quien se le atribuye el descubrimiento del oxígeno, demostró la necesidad del intercambio de gases entre los organismos vivos y la atmósfera que lo rodea. Esto fue demostrado gracias a un experimento donde descubrió que un ratón podía

sobrevivir mucho más tiempo dentro de un recipiente sellado, mientras que estuviese acompañado de una planta iluminada. A partir de este resultado, en 1771 escribió que “la lesión que se hace continuamente a la atmósfera por la respiración de animales es, en parte, reparada por la creación vegetal”.

Más de 200 años después, la NASA ante a la posibilidad de que el humano se mude a vivir en ambientes cerrados en la Tierra o el espacio, plantea que es obvio que tendrían que llevar consigo a la naturaleza como sistema de soporte vital (Wolverton et al, 1989). Es por esto, que desde 1974 intentaron hallar formas de reducir los contaminantes de futuros hábitats espaciales (NASA, 1974). Wolverton et al. (1989) colocaron plantas en maceteros dentro de cámaras selladas e inyectaron sustancias comúnmente encontradas en interiores cerrados. Los resultados mostraron que las hojas, el suelo y las plantas están asociadas a microorganismos que cumplen una importante función en la reducción de contaminantes del aire interior.

04.2

Biorremediar el aire

Posterior a estas experimentaciones iniciales, se comenzaron a realizar diversas investigaciones acerca del potencial biorremediador que tienen las plantas.

La biorremediación es entendida como un “proceso que utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y transformar contaminantes tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, presentando un enorme potencial en la mitigación de la contaminación ambiental” (Garbisu, Amézaga & Alkorta, 2002).

El efecto biorremediador de CO₂ producido por las plantas, es posible gracias al proceso metabólico llamado fotosíntesis. Rojas (1993) describe este proceso, en el cual los Cloroplastos presentes en las plantas usan la energía de la luz para impulsar la formación de ATP^[4] y NADPH^[5], compuestos utilizados para alimentarse, crecer y estimularse. Durante este proceso, la planta fija el Carbono en forma de CO₂ por medio del ciclo de Calvin^[6]. A causa de la reacción de los pigmentos presentes en el Cloroplasto que reciben la luz exterior, esta materia inorgánica es transformada en ATP y NADPH, que luego serán utilizados para la generación de glucosa (principal fuente de energía de estos seres vivos). Durante este proceso se desecha el O₂ al ambiente, compuesto básico para la vida.

↳[4] ATP:
Adenosín
trisfosfato,
nucleótido
fundamental en
la obtención de
energía celular

↳ [5] NADPH:
Nicotinamida
Aadeniina
Dinucleótido
Fosfato, es una
coenzima
utilizada en la
fase de fijación
del dióxido de
carbono de la
fotosíntesis

↳ [6] Ciclo de
Calvin:
Reacciones de
la fase oscura
de la fotosinte-
sis, que se
encarga de fijar
el dióxido de
carbono

Llewellyn y Dixon, en su texto “Can plants really improve indoor air quality?”^[7] (2011), realizaron una revisión bibliográfica sobre “los numerosos mecanismos mediante los que las plantas vivas y sus microcosmos asociados podrían tener el potencial de mejorar la calidad del aire interior”, donde destaca la degradación de contaminantes gaseosos a través de diversas vías metabólicas, la eliminación de CO₂ y producción de O₂ por medio de la fotosíntesis y la reducción de las concentraciones de polvo y bioaerosol (hongos, bacterias, virus y polen) en el aire.

Entendiendo las problemáticas que puede provocar la mala calidad del aire interior en las personas, como el Síndrome del Edificio Enfermo antes descrito, Pegas et al. (2012) realizaron un estudio que buscaba validar el potencial biorremediador de las plantas, específicamente en salas de clases en colegios. Los investigadores concluyeron que en una sala de aproximadamente 52 m² con 25 niños, los niveles de CO₂ fueron significativamente diferentes durante el período de medición sin plantas (2004 ± 580 ppm) en comparación con los periodos donde habían de 6 plantas (1121 ± 600 ppm) en el aula. En el caso de la concentración de COV, durante la medición de control, los rangos fluctuaron entre 933 ± 577 µg/m³ y cuando se incluyeron las plantas, la medición arrojó niveles entre 249 ± 74.2 µg/m³ (Pegas et al., 2012).

Esta capacidad reparadora de las plantas, ha permitido que desde los inicios de la vida en la Tierra, mantener un equilibrio en el aire del ecosistema, lo cual ha posibilitado la existencia de seres vivos.

↳ [7] “¿Pueden las plantas realmente mejorar la calidad del aire interior?”

Cuando los humanos comenzaron a incrementar su porcentaje de tiempo en espacios cerrados y aislados del ecosistema, tuvieron que ingeniárselas para poder hacer recambios de aire del exterior al interior. Cuando este intercambio se ve mermado por los espacios cerrados o dificultades en cambio de aire, plantear soluciones que lo purifiquen dentro de los mismos ambientes (al igual que los submarinos o las estaciones espaciales), parece ser una opción necesaria.

Es por esto que las investigaciones presentadas por la NASA, se vuelven tan relevantes. Pues, frente a la pregunta ¿Cómo cuidamos la calidad del aire en espacios que están aislados del exterior? Responden de la misma manera que lo hacen los ecosistemas: con plantas.

“En presencia de 6 plantas
los niveles de dióxido
de carbono en las aulas
bajaron de 2004 ± 580 ppm
a 1121 ± 600 ppm”

Pegas et al. (2012)

04.3

Restauración psicológica

Efectos psicológicos que generan la presencia de vegetación para las personas

Estudios indican que el contacto de las personas con la naturaleza, incluso si este es solo visual, es beneficioso para el estado de ánimo, ayuda a la recuperación de la fatiga mental — cuya definición es el agotamiento de la atención, según Kaplan y Kaplan (1989)— y mejora el comportamiento y estado de salud (Taylor, Kuo & Sullivan, 2001). El contacto con la naturaleza se define como tener algunos elementos naturales, como vegetación, cuerpos de agua o cielos azules a la vista (Kaplan, Kaplan & Ryan, 1998). Si bien, el periodo no está especificado, Ke-Tshung Han (2009) afirma que “incluso un breve lapso de contacto con la naturaleza puede proporcionar alivio temporal del agotamiento de la atención y el estrés psicofisiológico de la vida cotidiana ordinaria, produciendo una experiencia micro restaurativa”.

Han (2009) desarrolló un estudio experimental para investigar el efecto de las plantas de interior en la psicología, fisiología y comportamiento de las personas. Los resultados concluyeron que el grupo experimental que estuvo expuesto a la presencia de plantas tuvo “un inmediato y significativo sentimiento de preferencia, comodidad y amistad mucho más alto en comparación al grupo de control” (Han, 2009). Este resultado es denominado efecto restaurador, el



Figura 18: Tree 10 - Myoung Ho Lee (2006)

cual es un término utilizado para definir el impacto positivo que tiene un ambiente sobre las personas (Rivero & Schulmeyer, 2018).

Han (2003) considera que la restauración hace referencia a la renovación de los recursos y las capacidades funcionales disminuidas, lo que permite devolverlas a su estado original o natural. Rivero y Schulmeyer (2018) aseveran que “esta se puede observar en cambios positivos del humor, la disminución de la excitación, la mejora del rendimiento en tareas que requieren atención dirigida, entre otros cambios”. Tras su estudio, finalizaron con el planteamiento de la hipótesis que señala que, los ambientes naturales (físicas o virtuales) “producen un mayor efecto restaurador en las personas que las escenas urbanas a nivel cognitivo, emocional y comportamental” (Rivero & Schulmeyer, 2018).

Es inferible, que el efecto restaurador de las plantas o naturaleza parece tener un resultado similar al de la biorremediación, previamente descrita. Por ende, las plantas tienen la capacidad de afectar tanto al ambiente como a las personas, de manera que pueden impactar en su estado físico, emocional y psicológico, lo que propicia cambios en los individuos que los acercan a una condición más saludable.



Figura 19: Nahil Naseer (2018)

04.4

Estado del arte

Revisión de diferentes planteamientos de diseño de biorremediación de aire realizados por diferentes autores a nivel mundial.

Gracias a los anteriormente planetados y otros experimentos, la investigación sobre biorremediación generada por plantas, ha sido sujeto de estudio para la descontaminación de los suelos, depuración de aguas residuales y la limpieza de aire. Para este último específicamente, es usual ver en espacios cerrados como centros comerciales las especies de plantas definidas por la NASA como purificadores de medios aéreos. También se ha buscado construir diferentes tipos de proyectos de muros verticales para exterior e interior, generalmente adosados a muros, lo que ocasiona el aumento de la superficie vegetal dentro de un espacio y ello permite una mayor fijación del CO₂ gracias a la fotosíntesis.

A continuación se hará una revisión del estado del arte sobre instalaciones o dispositivos de biorremediación de aire con plantas en dos categorías, la activa y la pasiva.

Biorremediación pasiva

Intalar plantas en diferentes formatos, que con el mero hecho de estar presentes se encuentran realizando labores de biorremediación.



Figura 20: Living Plant Walls - Plant Solutions (2020)

PLANT SOLUTIONS

La empresa americana, genera muros de plantas autónomos para espacios interiores, buscando mejorar la calidad de los espacios de trabajo para los empleados. Su trabajo incluye un sistema de riego automatizado que debe ser conectado a una fuente de agua externa. El servicio incluye mantenimiento post compra debido a que toda planta vascular debe ser podada y mantenida cada cierto tiempo.



Figura 21: Vegetal Bus Stop - Florent Prat (2009)

VEGETAL BUS STOP

Es una parada de buses que en su techo cobija plantas, permitiendo una mayor presencia de estas en la ciudad y ayuda a la renovación del aire. Cobija y permite esperar el transporte público proponiendo un entorno paisajístico. El dispositivo guarda el agua de la lluvia y se vuelve autónomo, pero no deja de ser dependiente de las lluvias para su correcto funcionamiento. El diseño plantea la posibilidad de multiplicar los soportes vegetales de la ciudad para combatir la reducción de la superficie vegetal de la ciudad.



Figura 22: Lives Glass - Xingong Che (2015)

LIVES GLASS - XINGONG CHE

Reloj de arena transformado en un invernadero miniatura. La planta vive en la parte inferior y en la superior hay un tanque de agua. El uso del sistema de los antiguos relojes es para que el agua escurra lentamente hacia la planta mediante goteo para no causar una hidratación excesiva. Contiene un pequeño agujero en la parte inferior que libera el O_2 desechado por la planta para la purificación del aire. La problemática que presenta es que la aislación de la planta dificulta el contacto con el aire, disminuyendo la filtración.



Figura 23: Lampranthus spectabilis - Dalgial (2008)

MUROS VIVOS QUE LIMPIAN EL AIRE - CEDEUS

En el Laboratorio de Infraestructura Vegetal de Universidad Católica de Chile, cultivaron un muro vivo con las principales especies utilizadas en estas instalaciones. Luego, simularon las condiciones ambientales a las que están expuestas al aire libre, midiendo la capacidad de las especies de absorber partículas contaminantes. De esta forma identificaron que dos especies; Lampranthus spectabilis y Sedum álbum, son las más eficientes a la hora de absorber PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Ortiz, 2018)

“tener ventiladores que extraen el aire del ambiente, haciéndolo pasar por la planta y el medio enraizado”

Llewellyn y Dixon (2011)



Figura 24: Ren Ran (2017)

Biofiltración botánica asistida

La biofiltración botánica es entendida como la filtración y degradación metabólica de compuestos contaminantes habituales en el suelo, el agua, y también en el aire interior, gracias al contacto de plantas y microorganismos presentes en su medio cercano (Llewellyn & Dixon, 2011). Con el fin de alcanzar el mayor nivel de reducción de contaminantes, Llewellyn y Dixon (2011) plantearon lineamientos para generar el mejor sistema de biofiltración.

Tener plantas en maceteros provoca deficiencias ya que la rizosfera —parte del suelo inmediata donde se encuentran las raíces vivas de las plantas—, tiende a tener poco volumen. Esto causa que haya menos filtración de COV, porque el contacto íntimo entre el aire contaminado y los microbios degradantes es menor.

Es por esto, que los autores plantean que el mejor sistema existente es la tecnología híbrida

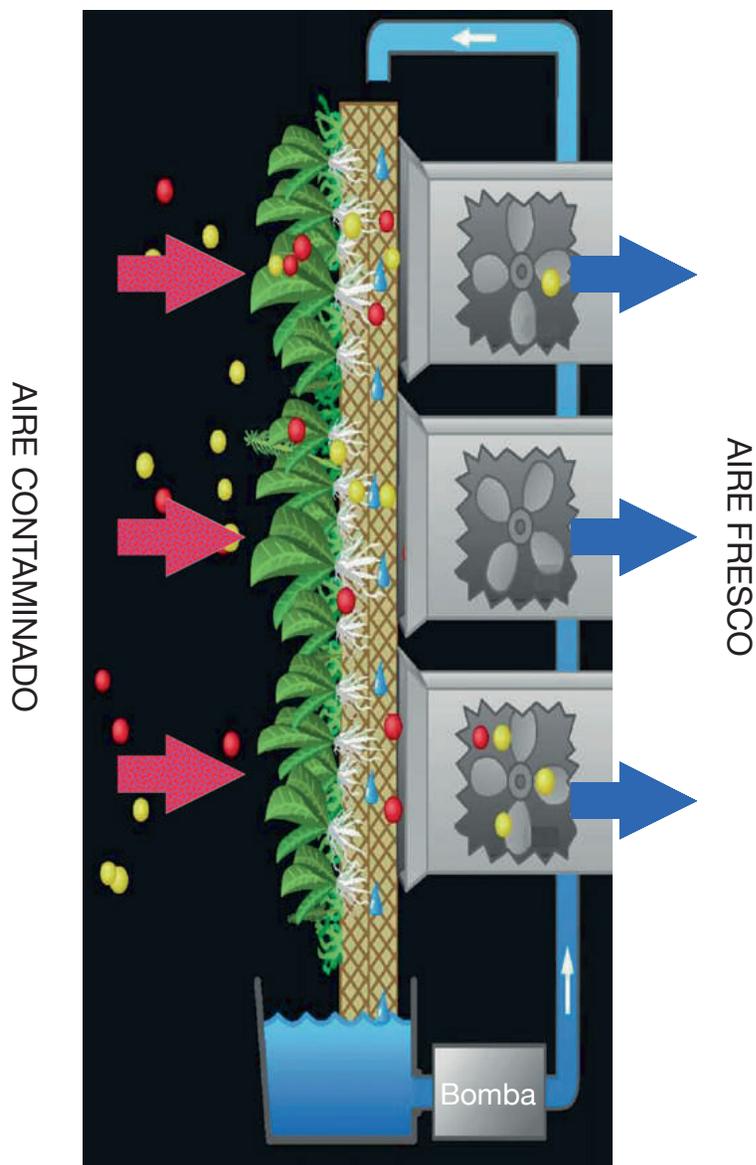


Figura 25: Biofiltración Botánica Asistida - Llewellyn y Dixon (2011)

denominada biofiltración botánica activa. La cual contempla tener ventiladores que extraen el aire del ambiente, haciéndolo pasar por la planta y el medio enraizado para una posterior recirculación de este.

Este sistema, tiene los atributos positivos enfocados en disminuir la intensidad de dióxido de carbono desechando oxígeno al ambiente; a la vez que el paso del aire por medio de la rizosfera permite una biofiltración en pos de la eliminación de contaminantes.

Estos diseños, consisten básicamente en plantas enraizadas en un sustrato delgado, estable y poroso. Adicionalmente, se generan sistemas de riego eficientes a través de la recirculación del agua o regadío por absorción, el cual se encuentra debajo del sustrato. También, se incorpora un sistema de ventilación forzada que transporta el aire mediante el sustrato.

Estos contextos, donde la biotecnología se presenta como un conjunto de tecnologías con un potencial para contribuir al desarrollo sostenible (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017), permiten facilitar y potenciar las capacidades que tienen, en este caso, las plantas para realizar sus procesos naturales. Sin embargo, es menester poder cooperar con el sistema vivo para no saturar su propio desarrollo, lo que permite darle mayor autonomía y la menor necesidad de mantenimiento posible.

A continuación se presenta distintos antecedentes de biofiltración botánica activa.



Figura 26: Andrea - Mathieu Lehanneur (2008)

ANDREA - MATHIEU LEHANNEUR

Es un filtro vivo que absorbe los contaminantes del aire contaminado. Aspira por medio de un ventilador el aire ambiente y absorbe compuestos tóxicos. Integra plantas seleccionadas por sus propiedades de filtrado. (Gerbera, filodendro, spathiphyllum, pothos o chlorophytum destacadas como las plantas más efectivas). El aire pasa a través del dispositivo para así ser limpiado sucesivamente por las hojas de la planta y luego por sus raíces. El dispositivo presenta una alta cantidad de plástico para ser una planta.



Figura 27: Naava (2020)

NAAVA

Sistema de biofiltración de aire interior deficiente por medio de materiales orgánicos y microorganismos presentes en las raíces de las plantas. Naava es una sinergia de muchas macetas que actúan como biofiltros al absorber el aire y ser filtrado por las plantas y sus raíces. El inconveniente del producto es que cada filtro tiene su macetero, perdiendo mucho volumen de filtrado.



Figura 28: Nedlaw Living Walls

NEDLAW LIVING WALLS

Biofiltros contruidos con dos capas de medios de crecimiento, lo que permite que la raíz crezca libremente en el medio. Este diseño crea una exposición óptima de la raíz al flujo de aire que se extrae en el sistema.

Al tener plantas de gran tamaño necesitan grandes cantidades de agua y un mantenimiento constante a causa del secado de las plantas.



Figura 29: Clairy

CLAIRY

Enfocados en la filtración que realizan las raíces, Clairy es un macetero para plantas de interior que tiene un sistema de ventilación que permite empujar el aire exterior hacia la tierra para ser filtrado. El filtrado es lento debido al pequeño motor que tiene, por lo que demora 30 horas en extraer la contaminación ambiental para llegar a un estado ideal.

BRIÓFITAS

05

05.1

Plantas no vasculares

Qué son las plantas briófitas

Dentro del reino vegetal, es posible hacer una gran división entre las plantas vasculares y no vasculares. Las primeras, son aquellas que poseen vasos de conducción de agua y savia, por ejemplo, los árboles, arbustos y helechos. Las plantas no vasculares, se distinguen por no tener tejidos conductores de nutrientes especializados, lo que repercute en su pequeño tamaño (máximo 200-300 mm). Estas son las briófitas (musgos y hepáticas) y los antoceros (Omora, 2004).

Las briófitas son plantas criptógamas, término que Gutiérrez y Albánchez (2010) definen como cualquier vegetal pluricelular terrestre que no utiliza flores para su reproducción. Soria y Ron (1995), sostienen que estas especies se han adaptado a través de una multiplicación vegetativa como estrategia para lograr el aumento del número de individuos de una población. Así, logran con gran eficacia colonizar medios inhóspitos, donde no se podrían desarrollar si dependieran de condiciones óptimas para la fecundación que normalmente tienen las plantas.

Asimismo, en materia de organización celular, estas plantas no permiten distinguir tejidos agrupados en forma de órganos especializados, es decir, no tienen raíz, tallo ni hojas. Sus células forman estructuras primitivas similares a las mencionadas, pero no alcanzan su grado de formación y desarrollo.

Las briófitas tienen hojas sin cutícula, “que es una capa de cera que está presente en las plantas vasculares y que les sirve para evitar la desecación. Por eso, los musgos y sobre todo las hepáticas crecen generalmente en lugares húmedos” (Omora, 2004).

05.2

Musgos y sus características

Dentro de las briófitas, se encuentran los musgos, a continuación se exponen sus características que las hacen tan distintas al resto de las plantas

Resiliencia

Los musgos son parte de un grupo de plantas terrestres primitivas que evolucionaron hace más de 500 millones de años, en una época donde la Tierra era un lugar muy húmedo. Por ello, nunca desarrollaron raíces: simplemente crecen sobre cualquier superficie, absorbiendo la humedad presente en el aire.

También, pueden tolerar temperaturas y humedades extremas. “Pueden sobrevivir porque tienen la capacidad de variar su nivel de hidratación de acuerdo a la humedad ambiente sin sufrir daños importantes, es decir, pueden resistir periodos de escasez de agua y recuperarse más tarde cuando exista una fuente de agua” (Omora, 2004).

Bajo mantenimiento / Libre de plagas

Los musgos no necesitan poda, debido a que el crecimiento es reducido porque como no tienen tejidos conductores que transportan agua o nutrientes, la planta autorregula su crecimiento en beneficio de que todo su sistema pueda alimentarse de manera correcta.

Además, no es necesario usar suplementos de suelo o fertilizantes para que crezcan debido a que son naturalmente anti patógenas (resistentes a enfermedades), a causa de los compuestos bioquímicos que almacenan en sus tejidos. Esto significa que no son vulnerables a las afecciones que pueden tener las plantas vasculares, y por ende, no necesitan de compuestos químicos para detenerlas (Benner, 2019). Por añadidura, no se conocen plagas de insectos que se aprovechen de los musgos, de modo que no es necesario usar pesticidas para regularlos (Benner, 2019).

Bioindicadores de polución con briófitas

Las briófitas han sido estudiadas por el importante rol que juegan en el monitoreo de cambios en la atmósfera terrestre. Algunas especies, han sido ocupadas como briómetros: una bolsa de musgo que responde de manera predecible a diferentes niveles de contaminación del aire (Glime, 2007).

Esta medición es posible gracias a las características de sus hojas, es decir, la ausencia de cutícula y que son de una sola capa de células. Dada a esta arquitectura y la falta de un sistema de conducción de nutrientes bien desarrollado, la mayoría de los musgos absorben tanto nutrientes como contaminantes directamente de la atmósfera, tan solo al ser interceptados por su superficie. (Glime, 2007).



Figura 30: MOSSphere - Mossclone (2015)

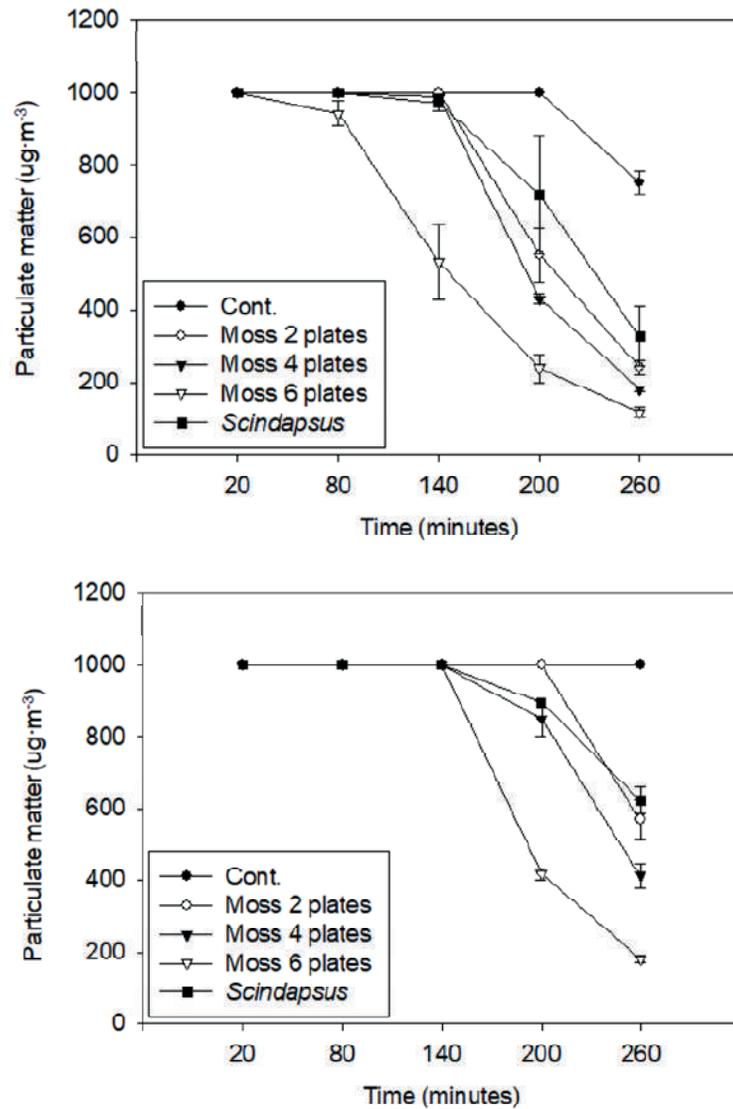


Figura 31: Resultado experimento absorción de material particulado por dos especies distintas y diferentes cantidades de musgos - Gong et al. (2019)

Filtración del aire:

Los investigadores coreanos Gong, Kang, Jeong, Jeong y Yun (2019), afirman que los musgos son efectivos para eliminar partículas en virtud de su gran superficie por unidad de área, debido a los innumerables pliegues presentes en su estructura. Los mismos autores, realizaron una investigación para verificar el poder biorremediador de musgos en la eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles y materia particulada. Los resultados revelaron que entre más presencia de musgo haya en el ambiente, el efecto de eliminación de COV aumenta. Por ejemplo, la concentración de Formaldehído disminuyó 40 veces y las de monóxido de carbono 30 veces, en comparación al grupo de control.

A partir del estudio, los autores concluyeron que los musgos son muy efectivos para la eliminación de partículas en suspensión y COV, por lo que “se espera que sean altamente utilizados con el propósito de decorar interiores y paisajismo para mejorar la calidad del aire interior” (Gong et al. 2019).



Figura 32: Musgos y líquenes - Aldo Hernández (2020)

04.3

Antecedentes

Antecedentes de dispositivos e investigación de biofiltración de aire con paneles de musgo.

A partir de las carecterísticas destacadas de los musgos, siendo fundamental su estructura falta de cutícula que permite una filtración de polución ambiental, los musgos han comenzado a ser usado para crear dispositivos de muros vivos. Estos están teniendo un auge en la última década, en vista de las cualidades de su alta capacidad de filtrado de aire que poseen, pues contribuyen a disminuir los COV, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, entre otros contaminantes.

Muros Exteriores

En primer lugar, se presentan dos casos donde se crea un muro viviente para exteriores aprovechando las condiciones climáticas para poder hidratar a las plantas y a la vez filtrar las contaminaciones aledañas de la ciudad. Para poder funcionar de manera correcta necesitan que las condiciones climáticas de las ciudades suelen tener precipitaciones para así poder acumular la humedad necesaria para la subsistencia de los musgos y la vez se puede suponer que se necesita que las temporadas de calor sean reducidas, puesto que de lo contrario, el funcionamiento óptimo sería poco tiempo.



Figura 33: CityTree (2015)

CITYTREE – GREEN CITY SOLUTIONS

Estructura móvil que por medio de varios paneles de musgo y un sistema de ventilación forzada que permite purificar el aire de las partículas perjudiciales para la salud, como NO_2 , CO_2 , O_3 , entre otros. Según sus creadores, la estructura es capaz de biorremediar de la misma manera que lo harían 275 árboles. Además, las instalaciones son completamente autónomas, con paneles solares se proporciona energía eléctrica y se filtra el agua de lluvia recogida en un depósito que bombea hacia las plantas.



Figura 34: Green Wall - University of Stuttgart (2017)

MURO DE MUSGOS – UNIVERSITY OF STUTTGART

En Stuttgart, el Institute of Building Structures and Structural Design de la Universidad de Stuttgart construyó un muro de musgo que tendrá 100 metros de largo y tres metros de alto. Las dos especies de musgo (*Ceratodon purpureus* y *Racomitrium canescens*) que se utilizaron para la pared se crearon específicamente para filtrar y degradar las partículas finas. Las pruebas mostraron resultados perfectos. Ahora queda por ver si también limpiará el aire de las calles llenas de humo de Stuttgart.

Muros Vivos Interiores

En segundo lugar, el antecedente más relevante para la investigación es Verdure de Wellness Walls, una pared de musgo vivo para espacios interiores.

Verdure - Wellness Walls

Es un ecosistema vertical que consiste en una pared de musgo vivo que, por medio de cooperación tecnológica, es autosuficiente. Verdure, busca incorporar el diseño biofílico^[8] en casi cualquier espacio interior al mismo tiempo que mejora los índices de calidad de aire. Moss Walls, la empresa estadounidense creadora de este dispositivo, asegura que la pared de musgo vivo, limpia y revitaliza el aire interior viciado, a través de un sistema de ventilación forzada mediante un ecosistema de musgos.

El dispositivo de 2,4 por 1,2 metros, cuenta con un sistema de iluminación de luz led no directa para el crecimiento diurno, un sistema de hidratación por medio de línea de nebulización de bajo flujo (para aumentar la humedad en el aire, facilitando la hidratación de las plantas), re-

↳ [8] Diseño Biofílico: incorporar elementos de la naturaleza en espacios urbanos o interiores



Figura 35: Bloomsday Cafe - Verdure Wellness Walls (2019)

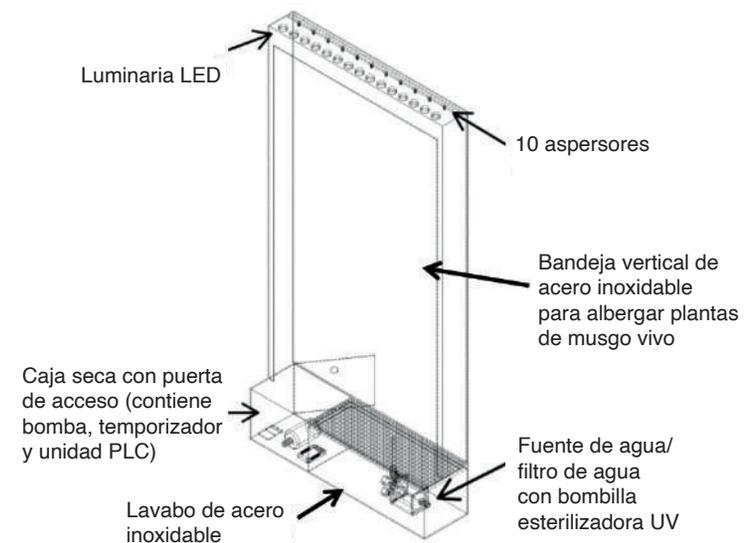


Figura 36: Sistema Verdure - Benner (2019)

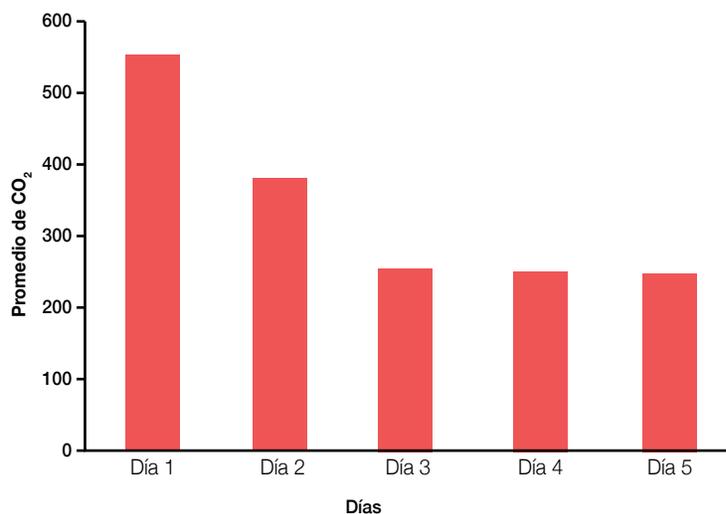
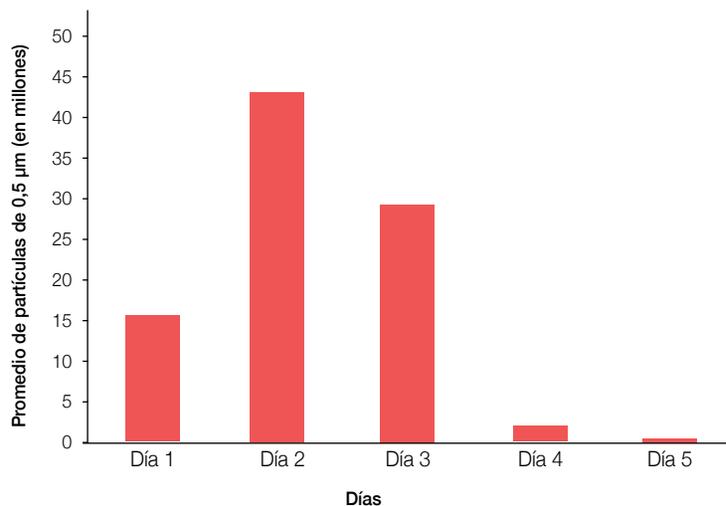


Figura 37: Resultados de experimento de contaminación en presencia de Verdure (CO₂ y PM 0,5) - Benner (2019)

gadío por rociado y un sistema de esterilización de agua a través de luces LED ultravioleta (UV).

La empresa publicó un monitoreo de CAI en espacios interiores realizado en 2018, con un medidor de partículas por millón marca Particles Plus modelo Series 5000 (aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por sus siglas en inglés EPA). En el estudio, midieron los índices de partículas nocivas y ppm de CO₂ en el aire de un espacio interior. Se monitoreó un volumen de 33 m³ continuo al dispositivo durante 5 días a cada minuto.

Los resultados mostraron una disminución del 225% en los niveles de CO₂ y una reducción dramática de material particulado de 0,5 µm presentes en el aire, las cuales disminuyeron alrededor de un 4.000 %.

Conclusión

A pesar de ser una experimentación realizada por la misma marca y que podría tener vicios en los datos, no deja de ser un antecedente interesante sobre el funcionamiento de un muro vivo de musgo. Según esto, y sumado a los otros referentes y antecedentes presentados, se abre el espacio para el planteamiento de que la creación de un ecosistema adecuado para el desarrollo de musgos apoyados por sistemas de ventilación forzada en espacios interiores, significará una mejora en la calidad del aire de aquellos ambientes cerrados.

**BIORREMEDIADOR
BRIOFITARIO**

06

06.1

Formulación Preliminar

Según lo expuesto, la presencia de vegetación en espacios interiores, beneficia tanto a nivel psicológico-conductual a las personas que utilizan esos lugares, como a nivel atmosférico, ya que mejoran la calidad del aire, lo cual repercute en la salud de los habitantes de estos recintos.

Oportunidad de diseño

Generar un sistema biorremediador para espacios interiores, que soporte y brinde de manera automatizada condiciones de vida óptimas para las briófitas. Al mismo tiempo, mediante un sistema de ventilación forzada potenciar los procesos naturales de fijación de Carbono y filtración de contaminantes, ya que este artefacto^[9] mejoraría los índices de calidad de aire y la percepción del espacio.

Este sistema provoca una mejora en la calidad de los espacios, pues influye en la salud, comodidad y bienestar de las personas. Problemáticas que afectan ampliamente en la equidad y percepción de los espacios interiores. Por lo tanto, ayuda a desarrollar el sentido de pert-

enencia, a través del fortalecimiento y modernización de los ambientes donde los individuos pasan largos periodos de su tiempo.

Pregunta de investigación:

¿Cómo reproducir artificialmente las condiciones ecosistémicas necesarias para la existencia y preservación de organismos biorremediadores autótrofos (musgos), en espacios humanos cerrados a través de un artefacto abierto?

Objetivos:

Determinar condiciones básicas para establecer la emulación de condiciones ambientales correctas para que el musgo pueda habitar de manera óptima fuera de su ambiente natural.

↳ [9] Artefacto:
Objeto formado por un conjunto de piezas y fabricado para un fin determinado que desarrollan en conjunto

06.2

Generación de hábitat

Hábitat natural musgos

Los musgos crecen en una variedad de hábitats, pero la mayoría se desarrolla en lugares húmedos, sobre suelo, rocas, troncos y ramas de árboles. Asimismo, casi todos estos ambientes suelen tener condiciones de sombra, humedad, condensación de agua y suelos ácidos (entre 5 y 6 PH). De este modo, obtienen los nutrientes directamente de sustancias disueltas en la humedad del ambiente (Govindaparyi, Leleeka, Nivedita & Uniyal, 2010).

Hábitat artificial musgos

Al trasladar musgos desde su ambiente natural a uno artificial, es necesario poder manipular las condiciones atmosféricas alrededor de las plantas para que puedan tener un correcto desarrollo.

A continuación, se presentan diversos referentes de hábitat artificiales, donde se identificarán las condiciones claves a analizar, para el diseño de un sistema de mantención artificial de musgos.

Terrarium

Es un recipiente, en el cual se busca reproducir las condiciones ambientales necesarias para distintos seres de vida (plantas o animales). Normalmente se hace referencia a ellos, cuando se habla de pequeños invernaderos en los que se recrean las condiciones de un ambiente húmedo.

Para lograrlo, se usan dos sistemas: el de nebulización y los humidificadores ultrasónicos.

Sistemas de nebulización: Son circuitos de tuberías con boquillas que propagan una neblina refrescante, las que permiten disminuir las temperaturas y aumentar la humedad dentro del contenedor.

Humidificadores basada en ultrasonido: Son dispositivos que ayudan a regular el nivel de humedad en el ambiente. Tienen una membrana cerámica que vibra a grandes velocidades y al estar sumergida en el agua, este movimiento crea humedad en forma de vibración ultrasónica. Además, son bastante duraderos, porque no tienen un motor que mueva una bomba.

Ventilación: Los terrarios, suelen ser cerrados para reducir la ventilación con el exterior y así no perder la humedad creada. Sin embargo, es necesario un movimiento de aire en pequeños intervalos, para ayudar a evitar el moho, bacterias y mejorar la salud de las plantas.

Contención: Es necesario que el terrario se construya en un recipiente impermeable, por que estará constantemente expuesto a hume-

dad. Por eso, se destaca el uso de contenedores de vidrio y polímeros.

Iluminación: Para disminuir el riesgo de quemar los musgos, es recomendado usar bombillas LED^[10], puesto que tienen un alto espectro lumínico y una baja emisión de calor. Adicionalmente, consumen poca energía y tienen mayor durabilidad en relación a otras ampollitas/luces. La temperatura del color tiene que rondar los 6.000 grados Kelvin (K), ya que es el que más se aproxima a la luz natural.

Fotoperiodos: Para emular la presencia de luz en el terrario, se aconseja encender las luces entre 12 y 14 horas diarias aproximadamente, lo cual determina el fotoperiodo.

Briofitario del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) de Santiago:

Ardiles, Montenegro y Veloso (2016) en su artículo “Módulo de exhibición: Briofitario integrando diseño, tecnología y flora no vascular en las exhibiciones temporales del Museo Nacional de Historia Natural”, presentan el proceso y resultados de la creación de un “módulo de exhibición, Briofitario, de regulación automática para mantener condiciones ambientales estables que permiten la sobrevivencia de las muestras a exhibir” (Ardiles, et al., 2016), el cual incluye 7 especies de plantas no vasculares y un sistema de regulación de temperatura y humedad en el interior por medio de una placa Arduino. Este proyecto tiene como objetivo “presentar a la comunidad del MNHN y a la ci-

↳ [10] LED: Por sus siglas en inglés “light-emitting diode”.

udadanía un grupo de plantas como las briófitas, de escasa comprensión e integración en los contenidos educativos en sus diferentes niveles, pero que son importantes a nivel global por ser las primeras plantas colonizadoras de los ambientes terrestres” (Ardiles, et al., 2016).

El estudio, presenta los objetivos del proyecto, proceso de diseño y por menores enfrentados para la realización. Ahí, también se destaca la lógica implementada para la detección de falta de humedad por medio de un sensor DHT11 (Medidor analógico de temperatura y humedad relativa) y sus establecimientos de rango para las briófitas entre 40% y 60% de humedad relativa, siguiendo el esquema en *figura 39*.

Asimismo, es relevante la reflexión acerca de la dificultad técnica relacionada con el sistema de humidificación en el briofitario. Los autores explican que, al generar vapor hay que cuidar que la temperatura del agua no aumente mucho, por tanto, es necesario que el sistema de humidificación implementado, sea eficiente y no genere calor.

El documento, también recomienda incorporar un sistema de intervalos de luz UV en tiempos preestablecidos, para poder esterilizar la superficie (Ardiles, et al., 2016). Esto, es con el fin de evitar contaminaciones de esporas o propágulos.



Figura 38: Briofitario en exhibición - Ardiles et al. (2016)

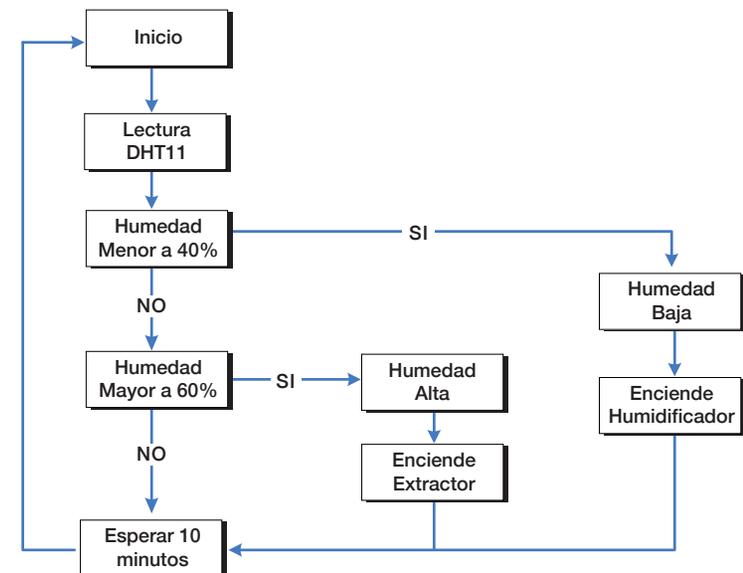


Figura 39: Diagrama de flujo referente al funcionamiento del soporte tecnológico del briofitario - Ardiles et al. (2016)



Figura 40: Prithvi Sagar (2020)

Conclusiones:

Al diseñar un sistema de purificación de aire que incluya musgos, es decir, que sea abierto, es necesario implementar un sistema de humidificación. El objetivo de ello, es poder hidratar a todo el conjunto de plantas lo más homogéneo posible o bien, que no existan sectores sin irrigación de agua, ya sea en su formato líquido o condensado.

Frente a esto, a manera de hipótesis es necesario crear un sistema que contemple dos condicionantes. La primera, es contemplar un proceso que establezca la humedad dentro de los rangos requeridos (40% a 60%) por medio de la entrega de vapor generado por un humidificador ultrasónico en diferentes puntos de la estructura. Y la segunda, es establecer ciclos de riegos por nebulización, ya que podría ser una alternativa para facilitar el mantenimiento durante el día, de los rangos de humedad requerida, con el fin de disminuir los ciclos de humidificación.

Respecto al material de soporte del biorremediador, queda definida la necesidad de utilizar un material impermeable, que evite el traspaso de humedad a los sistemas de apoyo.

En cuanto al levantamiento de información para un sistema de iluminación, es clara la necesidad de usar ampolletas LED con una temperatura que rodee los 6000K (luz natural). El fotoperiodo deberá ser experimentado y evaluado según la respuesta de los musgos.

Experimentación

Cultivo sobre superficie:

Primer cultivo: De manera intuitiva, se realizan los primeros acercamientos al trabajo con musgos. Desde un intento de poder hacerlos crecer sobre superficies, siguiendo técnicas de Graffiti de Musgo^[11], las que a pesar de ser ampliamente emitidas en base a formatos hágalo usted mismo, presentan formulaciones o recetas muy distintas entre sí. No obstante, la lógica detrás de ellas siempre es similar:

1. Tomar musgo que esté en el exterior.
2. Mezclar en una batidora con algún medio ácido (yogur o suero de leche)
3. Untar sobre superficie a adherir (idealmente que sea porosa)
4. Dejar en un lugar sombrío 10 días.

El objetivo del experimento, era analizar la efectividad del enraizamiento sobre diferentes piezas impresas en Plástico Poliláctico (PLA). Para esto, se cosecharon musgos presentes en paredes de ladrillo de un jardín y suelo (tratando de tomar la menor cantidad de tierra posible). Luego, se dejaron secando en papel durante 48 horas.

↳ [11] Graffiti de musgo: Técnica introducida por Anna Garfoth que consiste en hacer una pintura con musgo que al ser aplicada en muros, va creciendo con el tiempo



Figura 41: Graffiti de musgo - Mosstika Urban Greenery (S.f)

Después de los dos días, se mezclaron los musgos con el medio ácido (yogur natural), en proporción 1 a 2, y se revolvió hasta que la consistencia fuese la de un batido. Posterior a ello, la mezcla se aplicó de la manera más uniforme posible sobre la superficie de PLA.

Luego, las piezas fueron depositadas en una caja de cartón dentro de una bolsa de plástico opaca abierta, en una habitación oscura para retener humedad. Se realizó una ventilación diaria por 15 minutos, donde se humectaban los musgos con un aspersor manual.

Se esperó hasta el décimo día para evaluar el resultado final. Aunque al octavo, comenzaron a aparecer hongos que expelían olor a descomposición.

El experimento finalizó con la mayoría de las piezas infectadas con hongos, los musgos se secaron, quedaron de color marrón y no había presencia visible de yogur. Se concluyó que no es una forma adecuada de enraizamiento.

01



Figura 42: Musgo en pared - Elaboración propia (2020)

02



Figura 42: Musgos cosechado- Elaboración propia (2020)

03



Figura 43: Musgo seco - Elaboración propia (2020)

04



Figura 44: Piezas experimento - Elaboración propia (2020)

05



Figura 45: Musgo musgo y yogurt - Elaboración propia (2020)

06



Figura 46: Piezas con mezcla - Elaboración propia (2020)

07



Figura 47: Piezas contaminada - Elaboración propia (2020)

08



Figura 48: Pieza contaminada - Elaboración propia (2020)

Segundo cultivo: Con el fin de verificar si el exceso de humedad había sido causante de la aparición de hongos en el Cultivo 1, se ejecutó el mismo procedimiento de mezcla y aplicación sobre 2 superficies distintas, una plana y otra con perforaciones hexagonales.

Las piezas se guardaron en una caja de cartón cerrada sin la bolsa y con una ventilación diaria de 15 minutos, donde se humectaban las piezas con un aspersor manual.

El objetivo era poder verificar si la continuidad del material de la superficie y un posible exceso de humedad, podrían ser un factor negativo en el enraizamiento de los musgos.

Pese a que no se modificó tanto el proceso, en esta oportunidad el fracaso fue rotundo. Debido a que el musgo nunca pudo establecerse en ninguna de las dos superficies dispuestas y quedó de un color marrón oscuro y seco (similar en consistencia a tierra).

Conclusiones

Las referencias de Graffiti de Musgo muestran que es un proceso plausible. No obstante, parece poco controlable y muy lento para que sea una opción viable en un proceso de titulación. Ante estas problemáticas, se decidió desechar la opción de cultivo de musgos y se evaluaron procesos de trasplante de estos.



Figura 49: Piezas con mezcla 2 - Elaboración propia (2020)



Figura 50: Resultado experimento 2 - Elaboración propia (2020)

Sujetar musgos en superficie

A partir de la necesidad de anclar el musgo con una superficie con perforaciones, se usó de referencia el sistema de enganche que se implementa en acuarios y paludarios^[12]. La técnica consiste en atar musgos directamente a la superficie con hilo de nylon de bajo grosor (0,2 mm), para que queden presionados y así, gradualmente se enraícen a la zona.

Para este caso de estudio, se utilizó un tipo de musgo con características similares a las hojas del pino, es decir, compuesto por diferentes filamentos unidos entre sí. Este se ató a una superficie impresa en 3D con teselaciones de hexágonos, para que tuviera una estructura sólida, a pesar de las perforaciones.

El resultado de este experimento fue insuficiente para los objetivos del proyecto, puesto que la unión directa entre el musgo y la rejilla no generó la adherencia suficiente y además, a causa de la gravedad o extracción de aire, el musgo fue traspasando la superficie.

La resolución que se obtuvo a partir de esta experimentación, fue que es pertinente que en la superficie que soporta a los musgos, exista una capa extra con perforaciones más pequeñas para evitar la caída del sustrato, por ejemplo una malla Raschel. Por otro lado, la difícil adherencia de los musgos a la superficie, dio pie para barajar como una mejor opción usar un poco de sustrato entre los vegetales y la malla soportante, en vez de que estén colocados directamente en el soporte.

↳ [12]
Paludario:
Espacio
cerrado y
controlado que
incorpora
elementos
tanto terrestres
como acuáticos
para alojar
organismos
vivos



Figura 51: Atar musgos a superficie - Elaboración propia (2020)

Prueba concepto

Para poner en práctica los diferentes aprendizajes y suposiciones de los experimentos anteriores, se elaboró la primera maqueta con briófitas y un sistema de humidificación. En seguida, se detallan las diferentes partes del sistema.

Soporte: La estructura fue construida con retazos de madera y subdividida por una placa de MDF cortada en láser para poder fabricar un soporte para las briófitas y que a la vez, tuviera surcos que permitieran el paso del aire. Esta división, se hizo a una altura de 40 mm para que cupieran los musgos en la parte superior, y también para que se pudiera introducir el extractor de aire en la parte inferior.

En la superficie donde se ubicaron las briófitas, se colocó una malla Raschel 70% para evitar la succión de pequeñas partes de las plantas dispuestas en la superficie.

Generación de humedad: A modo de experimentación, y siguiendo como referencia el trabajo realizado en el MNHN, se empleó un humidificador ultrasónico, usado para terrarios y paludarios.

Este dispositivo era comandado por un Arduino, el cual se activaba a través de un sensor de Humedad Relativa (HR) DHT11 que iba midiendo los índices del espacio cercano. Cuando se captaba una HR bajo el rango (menos de 40%),



Figura 52: Soporte - Elaboración propia (2020)

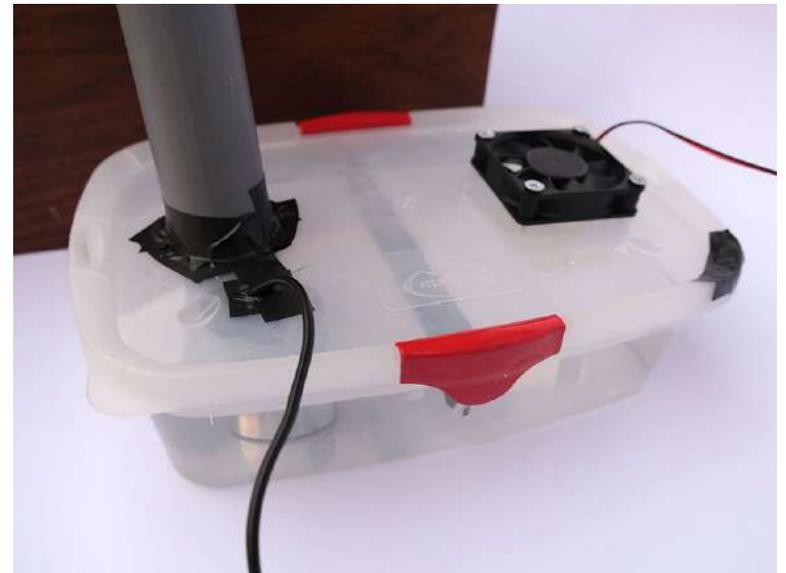


Figura 53: Sistema de humidificación - Elaboración propia (2020)

se accionaba el humidificador gracias al paso de corriente que era activado por un relé, el cual producía niebla que permitía hidratar las plantas. Al llegar a un máximo de 60% HR, se detenía su funcionamiento.

Estos índices de humedad fueron definidos así, ya que sobre 60% HR, se entiende como un exceso, lo cual favorece la aparición de hifas de hongos que otorgan un aspecto algo donoso blanquecino. Bajo 40% HR, existe una falta de humedad, que facilita la desecación, alteración del color y aspecto de las especies (Ardiles, et al., 2016).

Distribución de humedad: La humedad generada por el dispositivo antes descrito, es necesaria poder distribuirla para que llegue a todos los musgos. Para lograrlo, en el mismo recipiente donde está el humidificador y el agua, se hicieron dos perforaciones: una de entrada y otra de salida del aire. En la abertura más grande, se instaló un ventilador de 12V que permite el movimiento del aire externo hacia el interior del recipiente. Esto provoca presión y hace que el vapor salga por la segunda perforación, que tiene conectado un tubo de PVC posicionado sobre el humidificador.

Por lo tanto, cuando se enciende el humidificador y el ventilador, el aire que entra desde el exterior hace presión para que la niebla producida, salga por el sistema de distribución .

Posteriormente, esta salida se conecta a un flujo cerrado de tubos y codos de PVC que rodean

las briófitas. Los conductos tienen perforaciones repartidas de forma equidistante y de igual diámetro, para permitir la salida de la neblina. De esta manera, cuando el sistema se accione, saldrá niebla de manera homogénea.

Briófitas: Para este caso, se utilizaron unas briófitas llamadas Cladonias Rangiferina extraídas en la VIII Región, en las cercanías de Puerto Montt. Estas son cosechadas —a modo de rescate—, de terrenos donde la construcción de proyectos inmobiliarios está eliminando el ecosistema natural de la zona.

Las Cladonias han sido altamente utilizadas en paneles para la reducción de ruido. Sin embar-

Sobre 60% HR se entiende
como un exceso de
humedad y bajo 40% se
facilita la desecación

Ardiles, et al. (2016)

go, estas se usan teñidas de verde y preservadas. Este último, es un proceso donde se sustituye la savia por glicerina, lo que genera que el aspecto estético de las briófitas se mantenga, pero no están vivas, pues no necesitan agua ni luz.

A manera de experimentación, se usaron Cladonias vivas, para poder ver la reacción durante el día a las temperaturas y humedades ambientales, y a la vez evaluar cómo se mantienen con el sistema de humidificación. Estas fueron adheridas con pegamento sobre el soporte, para facilitar el proceso de enraizamiento.

Ventilación forzada: Se usó un extractor de aire metálico con un motor de 40W, el cual puede llegar a 2.800 revoluciones por minuto y su capacidad de extracción de aire es de 250 m³/hora. Esto permite por ejemplo, que una habitación de 25 m³ renueve su aire en 6 minutos^[13].

Dada a su alta eficiencia tiene una implicación de mayor ruido (30 a 35 decibeles).

↳[13]: El caudal de un extractor debe tener entre 7 y 10 veces el volumen de la habitación donde se use

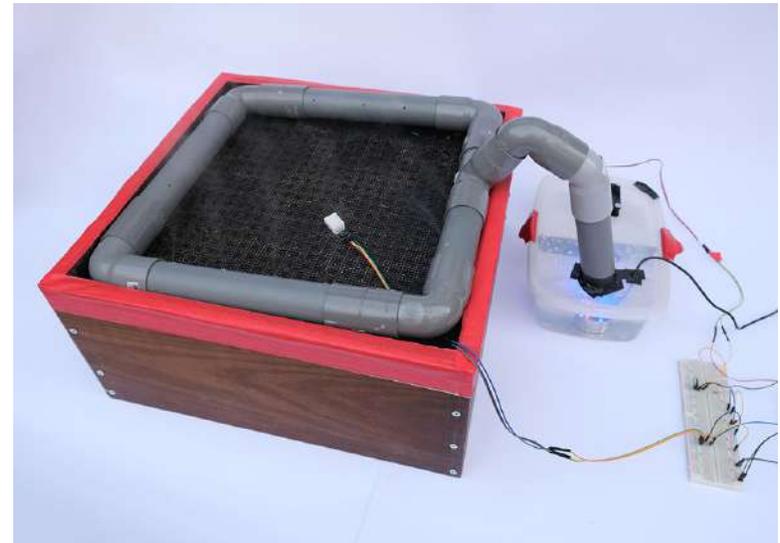


Figura 54: Distribución niebla - Elaboración propia (2020)



Figura 55: Cladonias - Elaboración propia (2020)



Figura 56: Prueba concepto - Elaboración propia (2020)



Figura 57: Cladonia y DHT22 - Elaboración propia (2020)

Conclusiones:

Soporte: Al cabo de un mes, las briófitas se enraizaron a la superficie, lo que causó mayor estabilidad y adhesión. Por tanto, el uso de adhesivos queda justificado como una ayuda al proceso de enraizamiento.

Humedad: El sistema de generación de humedad funcionó de manera correcta y esperada. Para una posterior mejora, es necesario que en el sistema de distribución de niebla haya más perforaciones para tener un mejor reparto de esta en distintos puntos de la superficie, dado que el ángulo de expulsión de niebla no es muy amplio. Además, la posición de las perforaciones debe ser en paralelo a las briófitas, para intentar que la niebla emanada tenga el mayor contacto posible con las plantas y que no se pierda en el ambiente.

Es importante recalcar, que durante un día completo (24 horas) y a una temperatura de 20 °C en promedio, el sistema se accionó en reiteradas ocasiones: 12 veces por día durante 8 minutos

aproximadamente en cada instancia. Por lo que se comenzó a probar humidificar con un aspersor manual dos veces al día (mañana y tarde), lo cual resultó en una disminución considerable de los ciclos de nebulización. El sistema final podría incluir ambos tipos de riego para complementarse y evitar el encendido constante.

Briófitas: La utilización de Cladonias parece no ser la ideal por dos motivos. En primer lugar, estas briófitas suelen ser grandes (más de 200 mm) y pueden llegar a crecer 40 mm al año. Por ende, su tamaño representa una dificultad debido a una posible necesidad de poda. Asimismo, su gran volumen incide en la distribución desigual de la humedad, lo cual afecta la exactitud de la medición de la misma, porque hay sectores más húmedos que otros y esto altera los índices que activan el sistema.

En el caso de la experimentación, la humedad se concentró principalmente en la parte honda del bastidor, lo cual podría causar que los musgos se pudran. Al mismo tiempo, en la parte superficial, donde las plantas tienen contacto directo con el ambiente, se secaron. Frente a esta problemática, se decidió usar un medio briófito de menos altura y con crecimiento limitado.

El segundo punto, es el color. Las Cladonias son blancas, lo que causa extrañeza cuando un individuo la observa, a pesar de que es una planta. La asociación con esponjas marinas o corales blanqueados, podría disminuir el efecto restaurador esperado para las personas. El proyecto tiene como pilar fundamental, que sea

comprendido que es una planta la que biorremedia. Así, el verde es sumamente importante, ya que alude al concepto vegetal, lo cual parece ser más difícil de conceptualizar cuando la forma de esta no es parte de lo convencionalmente entendido como una planta.

Ventilación forzada: La succión funciona por medio de la capa de briófitas, pero para mejorar el rendimiento es necesario encauzar y direccionar el aire. Para ello, se realizó una unión impresa en PLA, desde la estructura de soporte al extractor de aire, con el fin de evitar pérdida en la extracción.

El proyecto tiene como
pilar fundamental, que sea
comprendido que es una
planta la que biorremedia

ESTUDIO DE FORMA



07.1

Design for assembly

A continuación se presenta un análisis volumétrico de los componentes para la posible optimización espacial del artefacto.

Al contar con diversos sistemas para completar el funcionamiento total del biorremediador, es menester identificar los volúmenes correspondientes cada una de las piezas, con el fin de poder calcular cuál es el espacio total que requerido para albergar un ecosistema autónomo que filtre aire a través de musgos.

Ventilación: El modelo de extractor seleccionado, en base a su capacidad de ventilación de 250 m³/h, está compuesto por un tubo de 140 mm de diámetro, que contiene el motor y las aspas. Sumado a un panel cuadrado de 190 mm por lado, el cual permite la unión entre las paredes del extractor.

En caso de ser necesario disminuir su volumen total, es posible cortar el panel y que se defina su tamaño solamente por el tubo.

Además, deberá generarse una unión entre el extractor y el soporte a modo de embudo, lo que propicia un correcto tránsito del aire desde el exterior hacia el extractor.

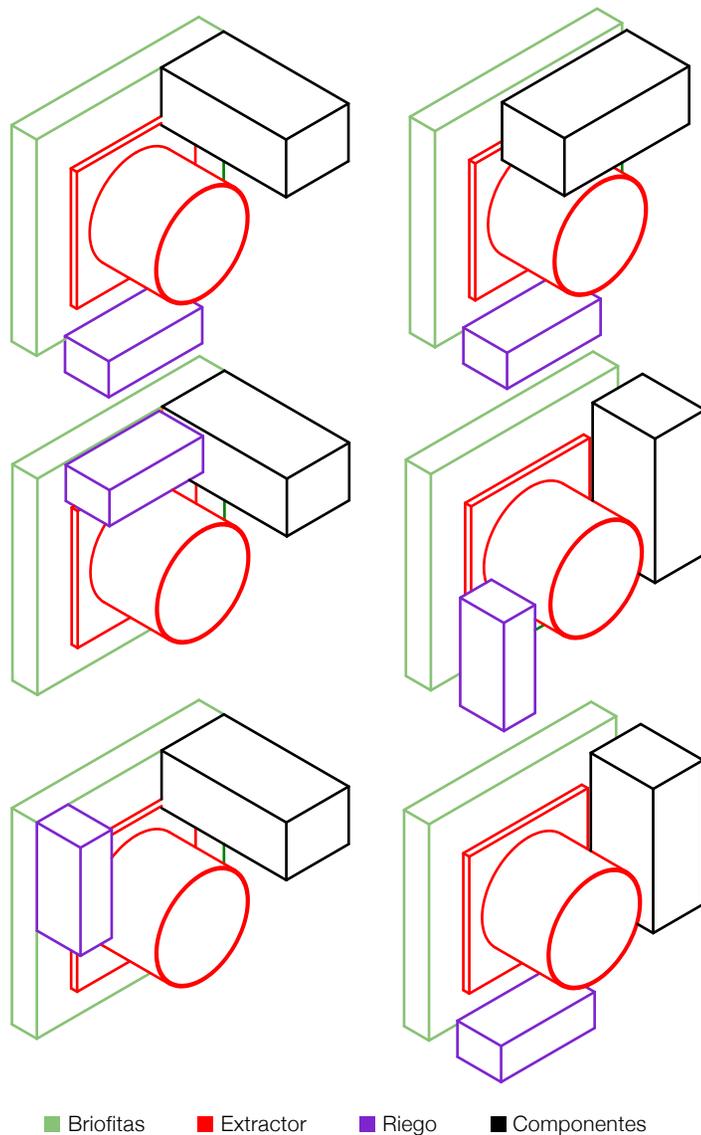


Figura 58: Plan de cabina - Elaboración Personal (2020)

Soporte briófitas: Independiente de la especie de briófitas seleccionada, estas necesitan un soporte que las albergue. La profundidad de este, será de 40 milímetros (variable según la altura de las plantas), con el objetivo de que queden no tan expuestas al exterior.

El ancho y largo deben tener un mínimo de 140 mm por lado, para aprovechar el área del extractor y un máximo de 420 mm (equivalente a 3 veces el tamaño del ventilador) para evitar pérdidas de contacto de aire con el filtro biológico.

Humidificación: El recipiente donde se encuentra la reserva de agua, tendrá en su interior el humidificador ultrasónico y el ventilador que expulsa la niebla, con la condición de que estos no se encuentren uno sobre el otro. Es por esto, que el tamaño mínimo del contenedor debe ser de 140 mm de alto, por 70 mm de ancho y una profundidad de 50 mm. Si bien ese tamaño es suficiente, es posible aumentarlo para que haya mayor almacenamiento de agua y que se rellene con menor periodicidad.

Componentes: Para controlar los sistemas, se requiere de un Arduino, la electrónica, los transformadores correspondientes y una regleta multicontacto^[13] para poder tener una sola salida de cable para todo el dispositivo. El tamaño mínimo para permitir un manejo con holgura es de 80 mm de alto, por 100 de ancho y una profundidad de 200 mm.

↳ [14] Regleta multicontacto: También llamada zapatilla o alargador

07.2

Desarrollo formal

Del diseño cerrado a la unidad ecológica abierta

En el siguiente subcapítulo, se presenta el desarrollo conceptual y formal que tuvo el proyecto durante el proceso de diseño, mutando en repetidas ocasiones por razones teóricas, experimentales y contextuales, posteriormente expuestas.

Concepto 1

El proceso de diseño del proyecto, partió con la idea de que fuese un dispositivo que se colocara en los andenes de las estaciones de Metro (*Figura 59*), que son espacios con altamente sobrepoblados y con muy malos índices de calidad de aire. Esto fue pensando en reemplazo a los paneles de publicidad que hay en las estaciones, donde se iban a sustituir las imágenes por musgos (usando las mismas medidas (*Figura 60*) y al interior del panel, se instalarían todos los sistemas que permiten la vida de las plantas. El objetivo era tener puntos de mejora ambiental en cada estación, para en primer lugar poder afectar a la CAI de esta misma, pero a la vez, al momento de llegar los trenes al andén y

abrir sus puertas, pudiesen tener un intercambio de aire con un medio menos saturado en contaminantes ambientales.

Conclusiones

Este concepto presentó problemas y futuras reflexiones. En primer lugar, lo relativo a la implementación evaluada en el plan de cabida. Se hizo evidente que la profundidad necesaria para anuar todos los sistemas, es mayor a la de los paneles, lo cual podría causar dificultades de tránsito en los espacios. Esto dió a entender que no es el contexto ideal para el objeto y debe ser pensado para otros espacios.

En segundo lugar, el tamaño usado como referencia (panel de publicidad) era demasiado extenso para tener un manejo correcto del riego. Por tanto, es necesario pensar en un dispositivo más reducido, y en caso de querer abarcar una superficie más grande, puede ser usada una teselación de módulos.

Finalmente, la reflexión que surgió tras este desarrollo conceptual, es qué transmite el dispositivo hacia los usuarios del espacio, y si evidencia que su función es biorremediar el aire del ambiente donde se encuentra. Tarea que parece cumplir, dada a la similitud que presenta con un jardín vertical ordinario.



Figura 59: Fotomontaje concepto 1 - Elaboración Personal (2019)

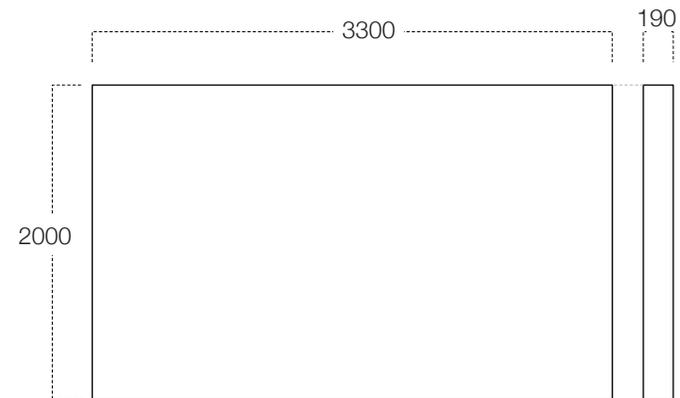


Figura 60: Paneles de publicidad en milímetros - Elaboración Personal (2019)



Figura 61: Piezas experimento - Elaboración propia (2020)

Concepto 2

Para poder distanciarse del concepto de un jardín vertical, se comenzó a indagar en cómo dar a entender que, a pesar de que el dispositivo contiene tecnología y plantas, su funcionamiento radica en el componente vivo. Frente a esto, se prevé que el objeto tenga formas orgánicas que comuniquen a través del simbolismo “natural” el carácter eco-funcional del dispositivo. Para este objetivo se hizo un levantamiento del estado del arte de objetos y formas biomiméticas, es decir, imitar la forma de la naturaleza.

Bajo esta premisa, se comenzó el modelado e impresión 3D de piezas, con el fin de experimentar la posibilidad de enraizamiento de musgo en impresiones en PLA, para que la superficie que contenga los musgos pueda ser bio-inspirada.

Como se relató anteriormente, la experimentación fracasó. Sin embargo, dio pie para entender que el intento de hacer que el soporte de los musgos pudiera definir su disposición es muy complejo o casi imposible. Debido a que, con el paso del tiempo estas plantas colonizarían la superficie de la manera más eficiente posible para la toma de nutrientes, lo que haría que se perdiera la forma predibujada. Si se quisiera dar un carácter orgánico a la forma del dispositivo, debería estar definido en el soporte que contiene al musgo, para que pueda ser apreciada.

Posterior a este aprendizaje, comenzó el estudio para poder construir una unidad a nivel de maqueta que incluya los musgos, un extractor de aire y una carcasa que remita a lo orgánico.

Bajo esta lógica, se exploró la idea de realizar un macetero colgante invertido, que filtre el aire a través de un manto de musgo. Para esta ideación fue fundamental la influencia de los maceteros Sky Planter Ceramic de la marca Boskke, los cuales mediante un sistema de irrigación de agua controlada, le entregan lo que la planta necesita, gracias a la gravedad. Lo interesante del producto, es el sistema de enganche que poseen para que no caiga la planta ni la tierra, como se muestra en la *figura 63*.

El posterior proceso de estudio de forma, se ejecutó a con experimentación por medio del dibujo (*figura 64*), para luego seleccionar una forma, modelarla e imprimir en 3D un prototipo.



Figura 62: Maceteros Sky Planter Ceramic - Boskke



Figura 63: Sistema enganche planta - Boskke



Figura 64: Proceso de desarrollo conceptual - Elaboración Propia (2020)

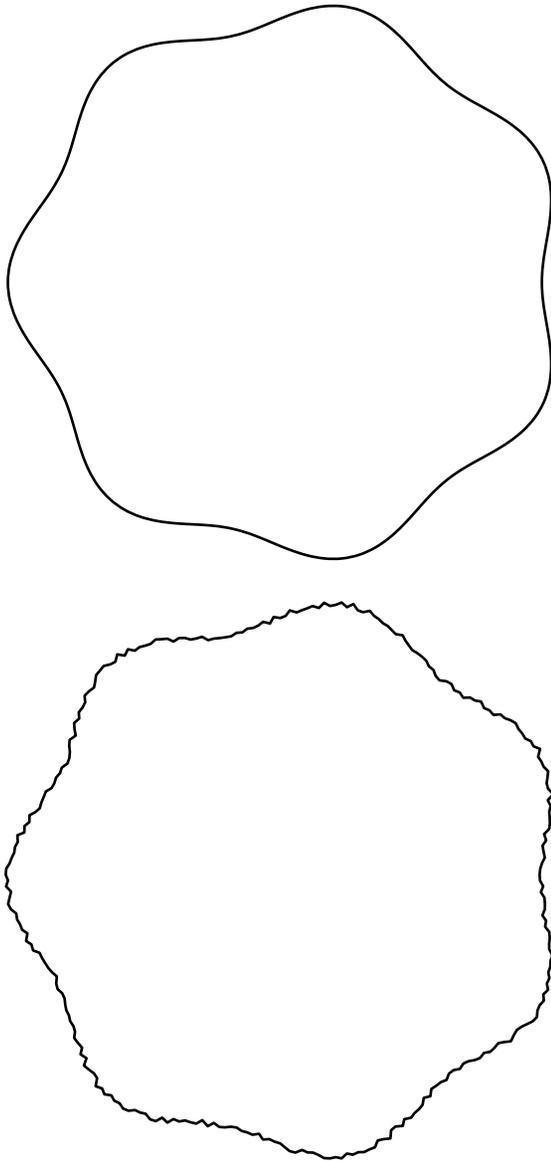


Figura 65: Curvas fractales - Elaboración Propia (2020)

La forma del prototipo, se realizó con el plug-in Grasshopper^[15], donde se hizo una subdivisión constante a partir de una figura geométrica, proceso que se denomina curvas fractales *figura 65*.

El objeto fue diseñado para que en su interior incluya un extractor de aire y en la superficie un filtro musgos. Este fue producido en impresión 3D.

El sistema de enganche diseñado no tuvo el resultado esperado, por que como se explicó en el capítulo de experimentación, no daba una estabilidad visible ni funcional. Además, un objeto con dichas características sería muy difícil de regar si es que no incluye un sistema de autorriego, y en caso de que lo tenga, habría que idear una manera de poder rellenar el recipiente.

Según todo lo mencionado, se desechó la idea de usar un macetero invertido. Se probó en una orientación corriente con un trasplante de musgos, para ver cómo se relacionan las plantas con el contenedor.

↳ [15]
Grasshopper:
Lenguaje de
programación
visual, es un
plug-in que
corre dentro de
la aplicación
Rhinceros 3D

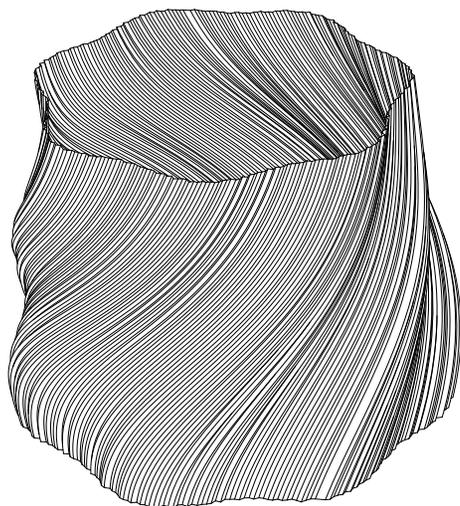


Figura 66: Unión curvas fractales - Elaboración Propia (2020)



Figura 67: Prototipo 1 - Elaboración propia (2020)

Conclusión

El sistema de trasplante con un poco de sustrato de su ambiente natural a un posible dispositivo es más idóneo, debido a que tiene mayor estabilidad. Sin embargo, el objeto genera un problema comunicacional, ya que solo parece un macetero con formas orgánicas con musgo en su interior. Por más que se le de una forma que destaque a la carcasa, lo importante en el producto es el proceso de biorremediación del aire. Al darle una forma inspirada en formas naturales, distrae al usuario y además, se opaca el objetivo funcional del dispositivo.



Figura 68: Prototipo 1 - Elaboración propia (2020)



Figura 69: Prototipo 1 - Elaboración propia (2020)

Concepto 3

Frente a la decisión de higienizar el producto y hacerlo estéticamente funcional, se desarrolló una propuesta que responde a las necesidades del funcionamiento y los diferentes sistemas, en vez de tener un discurso biomimético. Poder entender al dispositivo como la unidad mínima de biorremediación briofitaria y que pueda ser susceptible a cambios futuros con fines comunicativos, es lo fundamental para los objetivos del proyecto.

Bajo este entendimiento, se realizó una descripción de sus partes y plan de cabida detallado, con el fin de arrancar una etapa de ideación de posibles diseños variando la distribución de los sistemas, pero siempre bajo la lógica de que lo único que se vea desde el exterior sea el filtro de musgos y la carcasa.

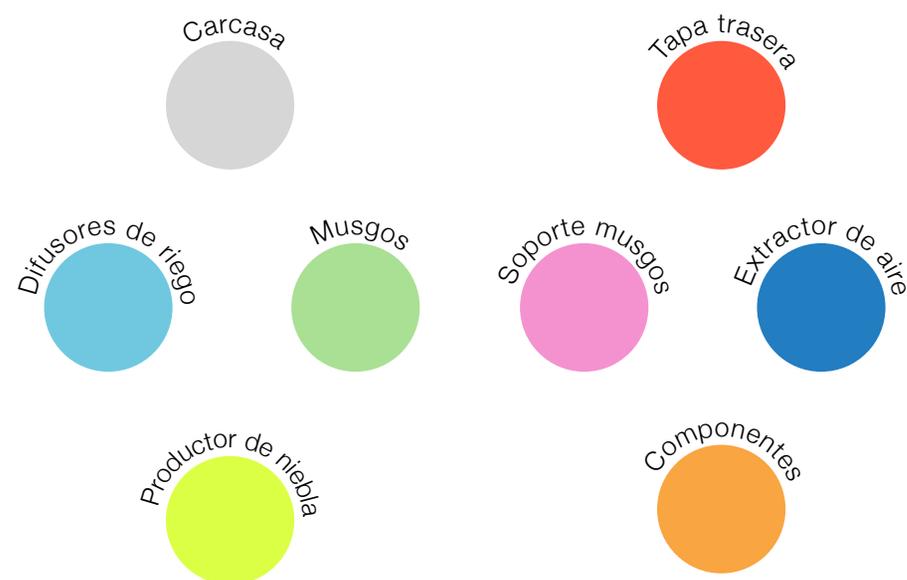


Figura 70: Componentes biorremediador - Elaboración Propia (2020)

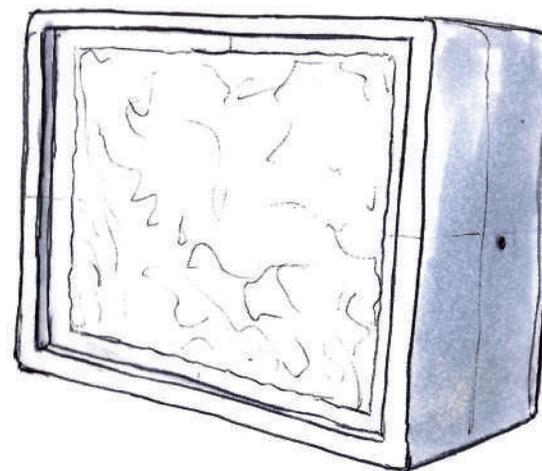
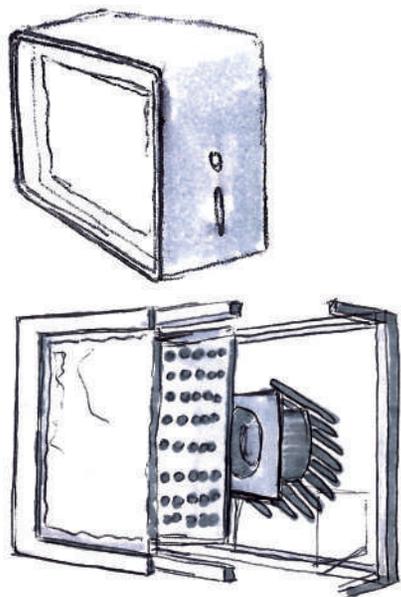
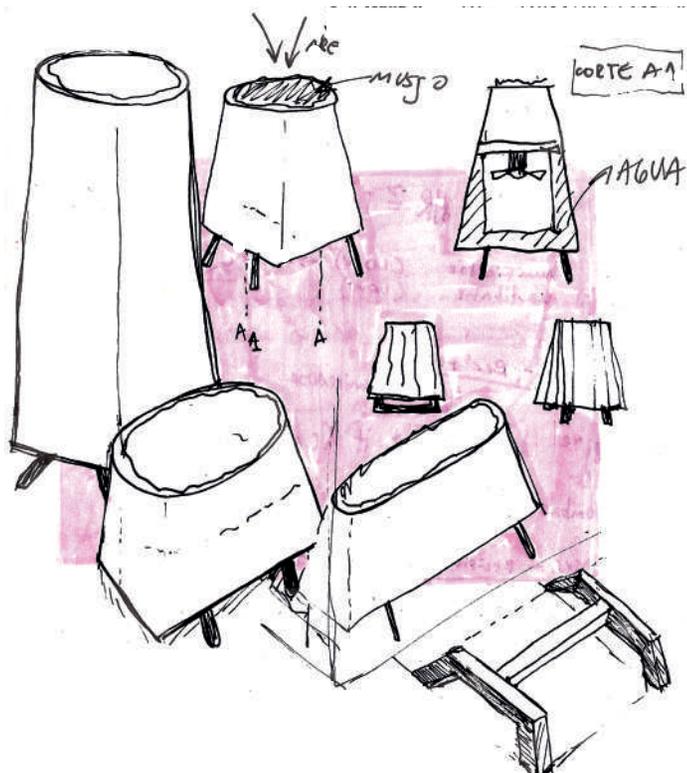
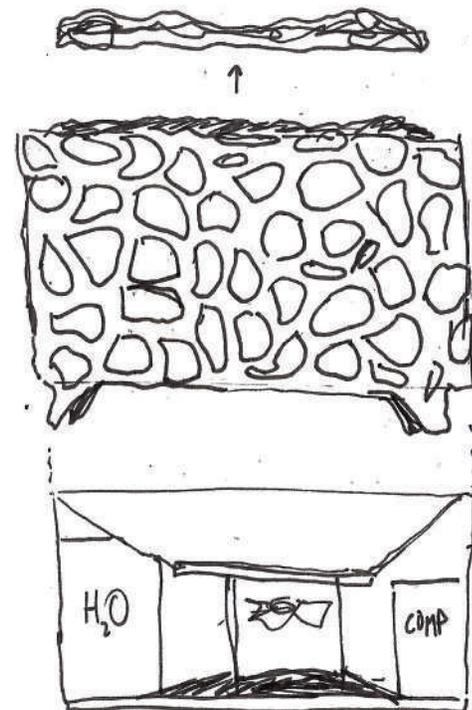
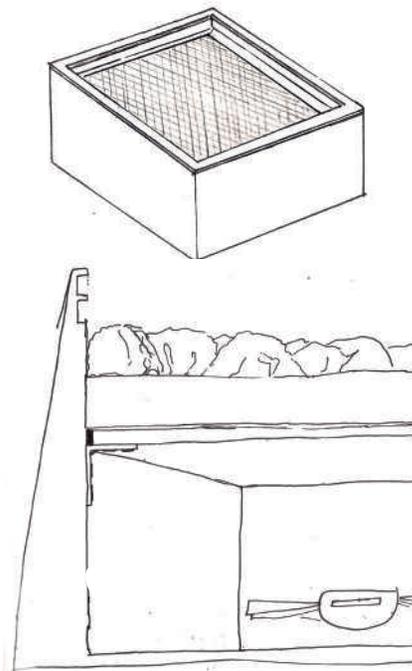
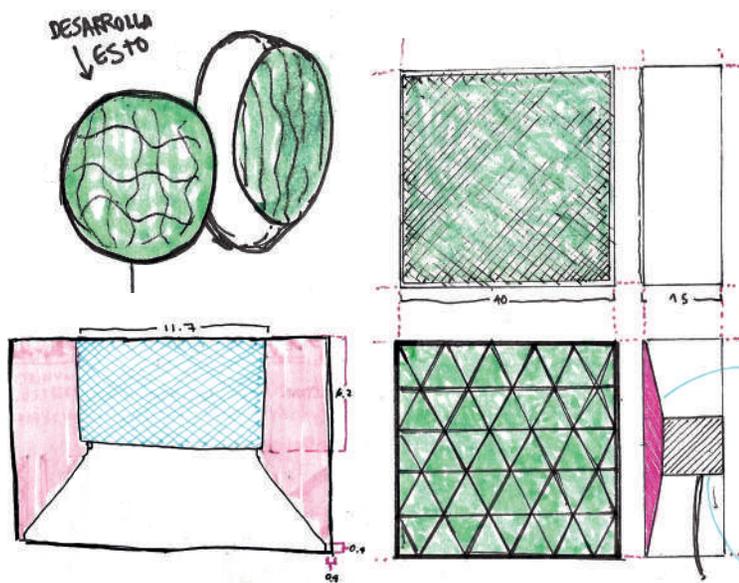


Figura 71: Desarrollo Concepto 3 - Elaboración propia (2020)

07.3

Affordance: la controversia del uso versus el entendimiento

Donal Norman en su libro “La psicología de los objetos cotidianos”^[16], planteó el concepto affordance, el cual definió como las características perceptibles de un objeto que le dan un aspecto intuitivo a la hora de comprender cómo usarlo.

El autor enfatiza en diferentes tipos de formas o respuestas de un objeto para que el usuario “pueda entender el funcionamiento de las cosas” (Norman, 1998).

Se puede reconocer en esta relación entre affordance y función, una relación simple de entrada/salida, apropiada para un contexto utilitario del diseño de dispositivos. Las formas que se desarrollarán serán capaces de transferir de manera inequívoca su modo de interacción con el usuario. En palabras de Maier y Fadel el affordance se entiende como “el conjunto de interacciones entre artefacto y usuario en el que las propiedades del artefacto son o pueden percibirse por el usuario como usos potenciales” (Como se cita en Brown & Blessing, 2005).

¿Qué ocurre cuando el éxito de un diseño no radica exclusivamente en el cumplimiento de las funciones para las cuales fue diseñado, sino además, que su triunfo esté determinado por hacer evidente su propósito y los mecanismos que utiliza en este proceso?

Existen ocasiones donde la comprensión de la función de un dispositivo es menos intuitiva de transferir. Para esto, se entregan pistas con referencias semánticas que nos conectan con el objetivo del dispositivo.

En los electrodomésticos, por ejemplo, su función como artefacto no suele ser interpretada de forma intuitiva a partir de la forma total, independiente de lo bien resuelto que estén sus partes para promover la interacción con el aparato (e.g. una correcta manilla para la apertura de la puerta de horno o el botón adecuado para el encendido de un extractor de aire), en muchos casos, se debe esperar un tiempo para obtener el beneficio deseado. Por lo cual, se utiliza un recurso semántico en el nombramiento del objeto para poder dar pistas de su función.

↳[16]: Título original: “The Psychology of Everyday things”



Figura 72: Enrico Mantegazza (2018)

Refrigerador, es el sustantivo del verbo refrigerar. Si es usado por primera vez por una persona, en la indagación inicial podría parecer tan solo un armario que enciende su luz al abrirse y está más frío que el exterior. Solo posterior al primer uso, este nuevo usuario, puede percatarse que al dejar algo dentro por un tiempo y luego sacarlo tendría una menor temperatura que antes. Si este mismo usuario deja un alimento en su interior y otro a temperatura ambiente, después de un par de horas o días, se percatará que los alimentos a menos temperatura permanecen en mejores condiciones que los mantenidos sin refrigerar. En este caso, la suma entre la percepción y lo verbal, ayuda a determinar la función del refrigerador, pues se puede percibir su beneficio, pero no es la intención del objeto que se entienda cómo funciona dicho proceso.

Cuando se diseña un refrigerador no se tiene como propósito educar a los destinatarios sobre el efecto bacteriano que sufren los alimentos en distintas gradientes térmicas, tampoco es el rol del diseñador dar a entender cómo se reduce la temperatura por medio de la evaporación de un líquido a presión; la forma del artefacto ha quedado relegada a un envoltorio que aísla a las personas de estos procesos y que simplifica la interacción del usuario a la mera operación del artefacto para obtener un beneficio.

Al hablar de aquel que usa, se limita el rol del diseñador o diseñadora como transformadores de la sociedad en la que se desarrollan. Si bien, la disciplina interpela a entender las dinámicas que los destinatarios naturalizan en su interacción con las propuestas diseñadas, en muchos

casos, el desafío trasciende a la relación de forma es a función y es menester plantear ¿qué elementos y formas deben ser relevados para avanzar hacia la revelación de un propósito que emerge desde un uso?

Affordance Eco-Funcional

La naturaleza tiene una infinidad de seres que cumplen una función distinta dentro del ecosistema, cada uno de ellos tiene una repercusión muy grande dentro de estas redes. Sin embargo, el humano a lo largo de su historia, ha ido adueñándose de estos componentes vivos e interpretándolos según sus propias necesidades. Al principio eran cosas básicas, como la alimentación, pero luego se comenzó a ampliar el espectro a otras funciones y necesidades que fueron surgiendo en la era moderna, como la recreación, la belleza y el ocio.

¿Por qué le damos importancia a las áreas verdes en las ciudades? En una nota del periódico La Vanguardia de España, se comentó que “el contacto con los enclaves naturales en la ciudad nos permite reflexionar, sentirnos libres, relajarnos o reducir el estrés” (Cerrillo, 2011).

A pesar de lo veraz y relevante de esta afirmación, omite que las áreas verdes permiten biorremediar al aire y disminuir la contaminación. Por lo que el problema de metros cuadrados de naturaleza por comuna, no solo radica en la posibilidad espacial de pasar el rato, relajarse y encontrarse con un entorno natural, sino que de-

fine un determinante social de la salud relacionado a la calidad ambiental en la que habitamos.

Por más que se sepa y enseñe en colegios que las plantas realizan funciones vitales para los humanos (liberan oxígeno y fijan dióxido de carbono). En el diario vivir, están arraigadas a funciones secundarias, como la ornamental o recreativa, y parece ser que se entiende que son otras plantas las que ejecutan esta actividad esencial, no las que rodean a los individuos en su cotidianidad.

El desafío de forma, consiste en diseñar un artefacto que purifique el aire con ayuda de briófitas, y también, lograr transmitir el funcionamiento junto con los beneficios que representa la ayuda de plantas en procesos de biorremediación ambiental. De este modo, evitar que se transforme perceptivamente en un jardín vertical y que su razón de ser sea meramente estético.

En resumen, comunicar el proceso y la utilidad que produce complementar la vida y capacidades fotosintéticas de un musgo, a un sistema de extracción de aire por medio de lo visual, permite que la forma defina el significado y función.

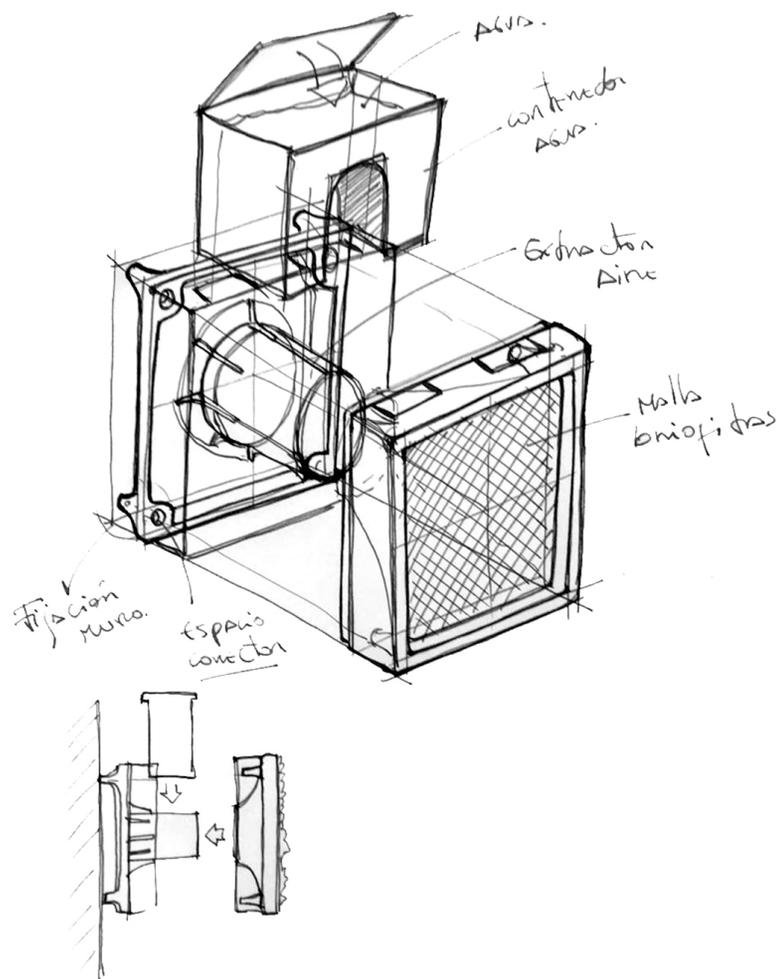


Figura 73: Concepto 3 Final - Elaboración propia (2020)

Conclusión:

Transparentar: A pesar de que los bocetos indican un desarrollo de un producto que parece ser viable e interesante, al autor aún tenía la sensación de que se ocultaba el funcionamiento de las cosas y de esa manera, era difícil separar a nivel conceptual el biorremediador de un jardín vertical o un macetero. Por lo que nació la idea de que la carcasa sea transparente para dejar de esconder los procesos. De este modo, se podrán mostrar los sistemas a modo de affordance funcional y así, dar relevancia al proceso del mantenimiento del musgo con el fin de remediar el aire.

Abrir lo cerrado: Crear algo nuevo, patentarlo y tener el monopolio de producción de una idea por un tiempo, es la lógica detrás del paradigma de industrialización de nuevos productos u objetos. Por ello, que una carcasa oculte sus componentes tiene una doble función: esconder el funcionamiento para que no sea copiado y

estética. No obstante, en este caso no tiene sentido cubrirlo, ya que como se ha explicado, es un sistema muy simple en sus componentes, por que consiste en un remix de diferentes sistemas existentes.

El camino a patentar un producto, tiene dos alternativas posibles. Reinventar cada uno de los dispositivos utilizados en los sistemas o concretar acuerdos con las patentes ya existentes, lo cual significa una gran inversión de capital para un proyecto que puede ser replicado y sustituido en alguna de sus partes fácilmente. Esto representa una encrucijada clave en el desarrollo del proyecto, ya que iniciar un proceso de patentes podría disminuir el potencial y posibles mejoras que tiene el concepto.

Victor Papanek, en su texto “Diseñar para el mundo real: Ecología humana y cambio social” planteó que el diseño debe ser una herramienta innovadora, creativa e interdisciplinaria, orientada a la investigación y que responda a las necesidades de la humanidad (Papanek, 1977). Sin embargo, asegurar que un sistema que podría ser altamente útil, está terminado y listo para ser transferido a la sociedad es un tanto egocéntrico, por que podría ralentizar su desarrollo y la posibilidad de llegada a las personas en su estado ideal.

Todo la investigación, estudio y desarrollo de sistemas llegó desde la información abierta que existe en internet. Ese conocimiento colectivo, ha permitido unir ideas preexistentes y generar el concepto desarrollado a lo largo de esta tesis. Un biorremediador biofitario tecnológicamente asistido, parece ser más útil que se en-

tregue a este misma red, para que sea un concepto a desarrollar de manera abierta por el ente colectivo de la comunidad maker, en vez de que sea un objeto producido industrialmente.

Por ende, parece que es más útil que el biorremediador biofitario tecnológicamente asistido, se entregue de vuelta a esta misma red para que sea un concepto a desarrollar abiertamente por el colectivo de la comunidad maker, en vez de que sea un objeto producido de manera industrial.

El concepto de comunidad maker, se enmarca dentro de la idea de poder generar uno mismo objetos y/o proyectos, desligandose de los procesos industriales y con un eje angular: compartir ideas, procesos, planos o lo que sea necesario, para que cualquier persona en el mundo pueda tomar esos archivos, modificarlos y realizarlos de la manera que le parezca más conveniente.

Si bien, es cierto que esta metodología lleva bastante tiempo, no fue hasta la instauración de los Fab Lab —laboratorios de fabricación digital—, que este concepto comenzó a tomar fuerza y se instauró como una manera de generar conocimiento colectivamente.



Figura 74: Taller digital - IED Madrid Fab Lab (2015)

07.4

Sistemas abiertos

Fabricación digital y open source: un sistema de creación colectivo

En el marco de la idea de construir casi todo sin depender de una fábrica (Menichinelli, et al., 2015), comenzó la idea de los Fab Lab, espacios de producción de objetos por medio del uso de herramientas de fabricación digital.

Este cambio de paradigma, comenzó a inicios del 2001 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés). Desde donde se empezó a dar la posibilidad de que las personas crearan y produjeran sus propios objetos, a través del dibujo 3D y fabricación con las herramientas (Impresoras 3D, CNC, máquinas de corte láser, entre otras

El movimiento de la fabricación digital ha tenido un avance gigante en su poder creativo. Debido a que la mayoría del contenido, se encuentra amparado bajo la visión open source (código abierto), la que hace hincapié en que los códigos que se diseñan: “sean accesibles al público y que todos puedan ver, modificar y distribuir el código de la forma que consideren conveniente” (Red Hat, s.f). El beneficio de este sistema colaborativo, es la rápida evolución generada en diferentes líneas de diseño o investigación, que se están dando a lo largo del mundo.

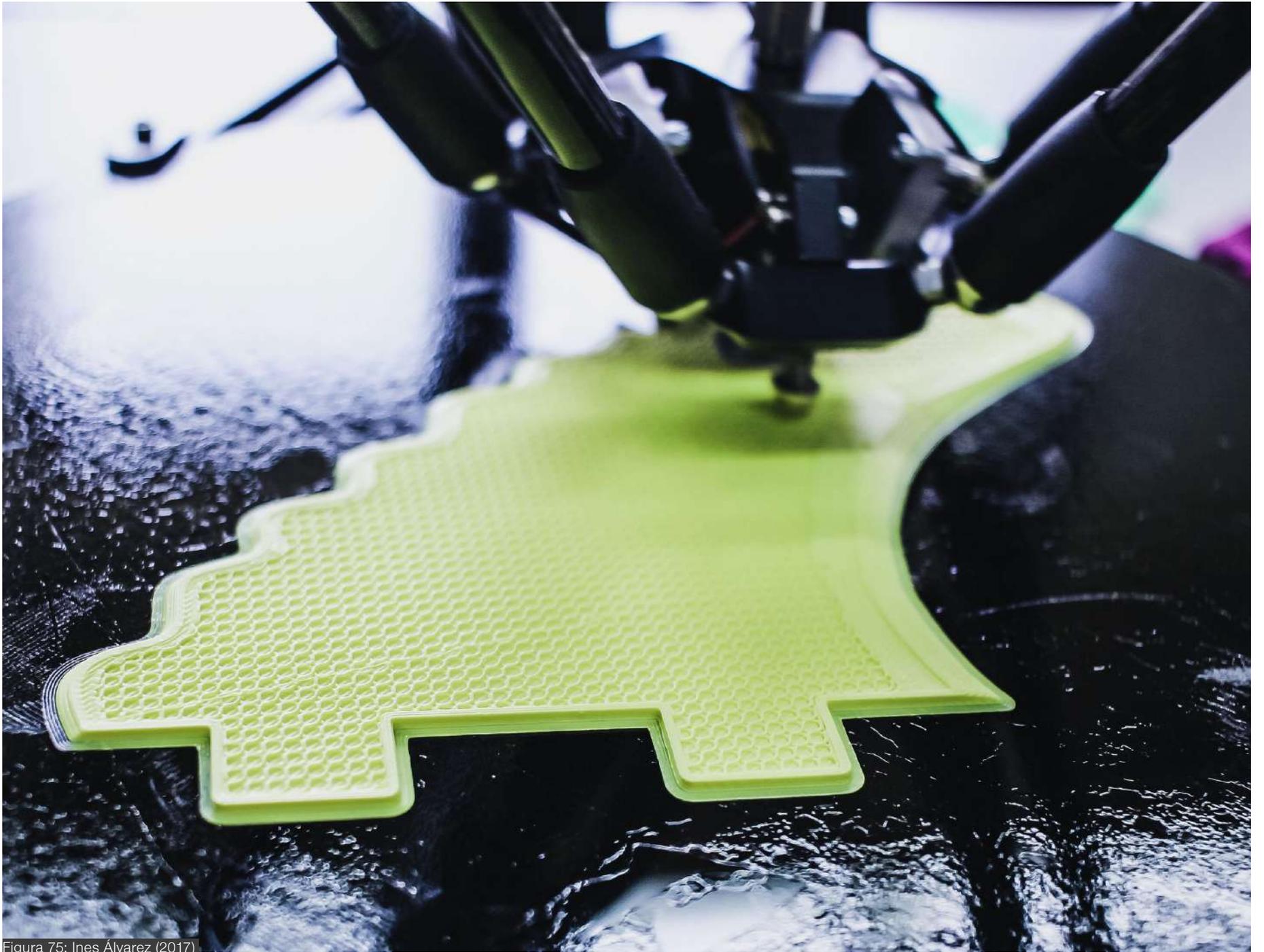


Figura 75: Ines Álvarez (2017)



Figura 76: Chair - Precious Plastic

La concepción del diseño libre, que versa sobre la creación y publicación de planos, sistemas constructivos o programaciones de productos, máquinas y sistemas de manera pública en internet. Entrega la posibilidad de crear a las personas, de forma colaborativa y cohesionada a disposición de las necesidades de ellas mismas, compartiendo sus ideas y potenciándolas comunitariamente, a pesar de no ser parte un mismo ente social.

Uno de los casos destacados es Precious Plastic. Un proyecto de reciclaje de plástico de código abierto, iniciado el 2013 por Dave Hakkens, que se basa en una serie de máquinas y herramientas que muelen, funden e inyectan plástico reciclado. Lo que permite la creación de nuevos productos a partir de la reutilización de este material (Precious Plastic, s.f). Hoy han creado una comunidad con más de 80.000 personas de 102 países distintos, entre lo que destaca un índice de personalización de las máquinas de un 25% (Ortiz, 2020).

Artefacto Remediador Briofitario Autónomo de Código Abierto

Como conclusión al proceso de diseño, se estableció que el proyecto se enmarcará dentro de la lógica de hardware abierto. Por lo que el diseño será de libre acceso y tendrá componentes electrónicos sencillos de fácil acceso en el mercado, para que pueda ser replicado y mejorado a conveniencia de los usuarios.



Figura 77: Machines - Precious Plastic

FORMULACIÓN

08

08.1

ARB 1.0

Artefacto remediador briofitario

Artefacto biotecnológico de código abierto basado en briófitas como medio de filtración ambiental

QUÉ

ARB, por su sigla Artefacto Remediador Briofitario es un sistema de biorremediación ambiental de código abierto, basado en los procesos metabólicos de briófitas y asistido por mecanismos de ventilación forzada. Está destinado para espacios interiores contaminados con altos niveles de dióxido de carbono y otros gases inertes. El sistema cuenta con una estructura modular de perfiles metálicos, un sustrato sintético para la fijación y propagación de las briófitas, la electrónica asociada a la ventilación y un sistema autónomo de irrigación que determina el nivel de humedad y activa los dispositivos de humidificación por nebulización ultrasónica.

POR QUÉ

La alta presencia de contaminantes ambientales (e.g. CO₂, COV, entre otros) en espacios con poco intercambio de aire con el exterior, ha sido reconocida como componentes del Síndrome del Edificio Enfermo. Esto implica efectos nocivos para la salud, manifestados en síntomas como dolor de cabeza, mareos, náuseas, dolor de ojos y garganta, o disminución en funciones cognitivas que se reflejan en pérdida de concentración y reducción en el desempeño la toma de decisiones.

POR QUÉ

Mejorar los índices de calidad ambiental en espacios sometidos a condiciones de contaminación “no visual”, y también provocar un efecto restaurador a nivel psicológico en las personas que habitan estos espacios, mediante las capacidades biorremediadoras de las briófitas y otros organismos autótrofos.

08.2

Objetivos

01 Reducir niveles de contaminantes atmosféricos en espacios interiores.

↳ I.O.V: *Disminuir partículas por millón de contaminantes con CO₂ y COV presentes en el ambiente en presencia del artefacto.*

02 Permitir la adaptación, replicabilidad y mejora incremental del sistema desde los modelos de licenciamiento Creative Commons y otros similares.

↳ I.O.V: *Definir formas, sistemas constructivos y componentes del proyecto que puedan ser intercambiables por reemplazos que puedan cumplir la misma función.*

03 Movilizar caudales de aire interior a través del sistema para su biorremediación asistida.

↳ I.O.V: *Mantener las plantas con rangos de humedad entre 40% y 60% a través de un sistema de riego.*

04 Reproducir las condiciones ambientales necesarias para la supervivencia y proliferación de los organismos fotosintéticos y sus procesos metabólicos.

↳ I.O.V: *Medición de caudal de ventilación mayor a 150 m³/h.*

08.3

Sistemas

A continuación se describen los componentes del sistema, sus requerimientos operativos y los mecanismos de organización y cooperación.

Soporte y estructura

Para albergar todos los sistemas del proyecto se utilizaron dos formatos: [1] la estructura del artefacto que aloja todos los componentes electrónicos, los mecanismos de ventilación y los sistemas de irrigación; [2] y el soporte que permite la fijación y propagación de los musgos.

El primero, consiste en la estructura que sostiene cada una de las partes del prototipo. Fue realizado con perfiles V-Slot de acero inoxidable de 20 por 20 mm. Estos comúnmente son usados para la construcción de máquinas, como impresoras 3D y CNC Router, por su alta firmeza y resistencia a las vibraciones.

La selección de este componente para la etapa de prototipado, radicó en su versatilidad en el armado, gracias a las uniones en ángulos de 90 grados del mismo material, pernos y tuercas allen. Este sistema de ensamblaje, permite que el prototipo sea montable y que se pueda iterar en distintas organizaciones de los sistemas dentro del artefacto.

La decisión del uso de este tipo de estructuras basada en perfiles armables versus la opción de un chasis consolidado de perfiles unidos o



Figura 78: Estructura con perfiles V-Slot - Elaboración Propia (2020)

soldados se funda en la necesidad de articular un sistema adaptable, que pueda variar según los requerimientos espaciales o la inclusión de elementos extra. La adaptabilidad que otorgan los V-Slot, permitieron repensar la organización de los espacios en repetidas ocasiones, lo que finalizó en la *figura 78*, cuyas dimensiones son de 400 mm ancho, 400 mm de alto y 210 mm de profundidad.

En segundo lugar, está el soporte para los musgos que va adosado a unas de las caras cuadradas de la estructura de acero. Este fue realizado en acrílico transparente de 5 mm de grosor, con un sistema de ensamblajes hecho con corte láser^[17].

La estructura se compone de dos niveles conectados entre sí. El primero, es el que se une al soporte metálico por medio de pernos y tuercas allen, además tiene una salida para el sistema de humidificación para los musgos y el medidor de HR. El segundo es el almacenador de musgos, que tiene una profundidad de 40 mm para su estancia, en un cuadrado de 310 mm de largo por 310 mm de alto, la elección de esta área se ve supeditada a que esta doble de largo el diámetro del extractor, para aprovechar su poder de extracción, pero que no desaprovechar su

↳ [17] Corte láser: Técnica empleada para cortar piezas generada por un láser que concentra luz en la superficie de trabajo

capacidad con partes de biofiltro por el cual no pase el aire. La base, tiene 289 perforaciones de 7 mm de diámetro, distribuidas en 17 líneas para permitir la succión de aire desde el ambiente hacia el extractor y que pase por la alfombra de musgos, la decisión de tamaño y distancia se basa en el ánimo de tener la mayor cantidad de perforaciones posibles, pero que la superficie no pierda estructura ni resistencia.

Además, para evitar la pérdida de sustrato de las plantas, la base incluye unas hendiduras para que con amarra cables, se pueda atar una capa de malla raschel al acrílico. De esta forma, se pueden sostener con mayor facilidad los módulos de musgo, ya que es una superficie porosa que aumenta el roce, lo que facilita la adhesión.

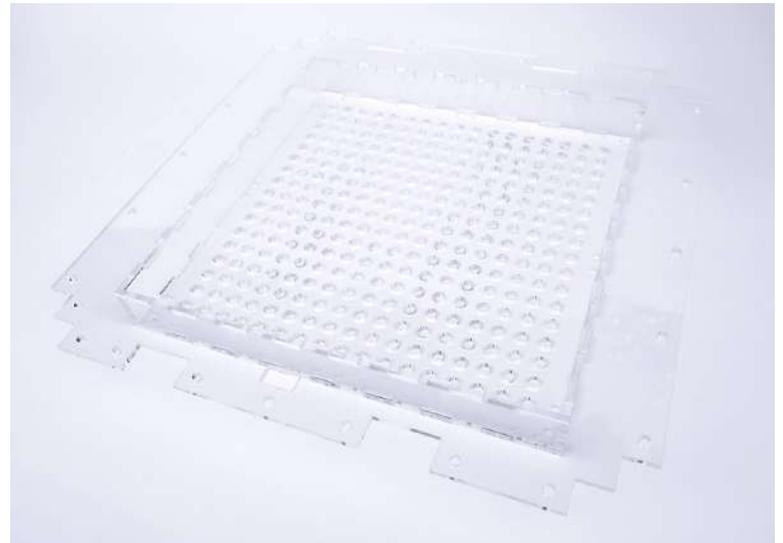


Figura 79: Soporte de acrílico para musgos - Elaboración Propia (2020)

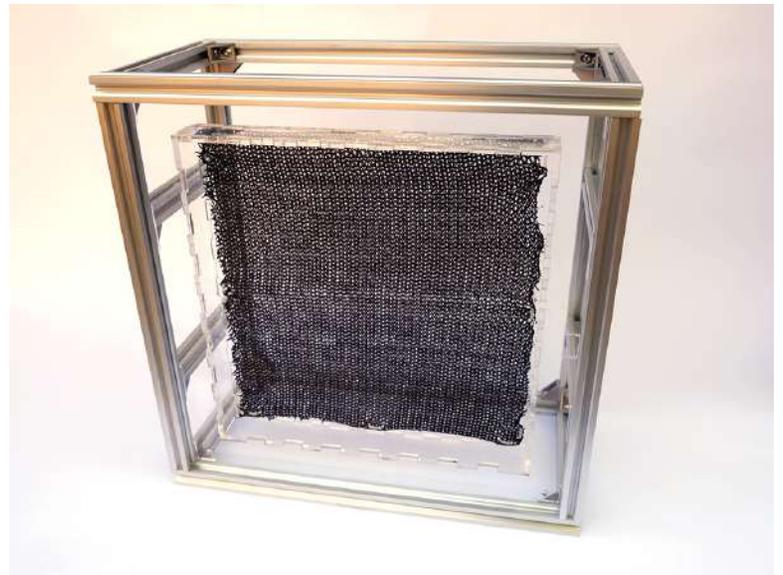


Figura 80: Soporte de acrílico con malla instalado - Elaboración Propia (2020)

Organismos autótofos, musgos y microbiota

A modo de experimentación, para verificar la posibilidad de mantener la vida de los musgos por medio de un sistema de humidificación y comprobar si es posible el traspaso del aire, se utilizaron especies extraídas en la VIII Región, específicamente de las cercanías de Puerto Montt. Al igual que las Cladonias mencionadas en el capítulo 6, estas son cosechadas —a modo de rescate—, de terrenos donde la construcción de proyectos inmobiliarios está eliminando el ecosistema natural de la zona.

Estas briófitas fueron recogidas junto a una capa de sustrato de 20 mm aproximadamente, para evitar desarticular el conjunto de plantas. Posterior a la cosecha, se mantuvieron a 40% HR hasta el traslado que se realizó por medio de un servicio de despachos que llega en menos de 24 horas al destino, pues la velocidad de entrega es importante para no perder la humedad de las plantas. Al llegar, se les mantuvo en el exterior a la sombra y fueron regadas con aspersor manual tres veces al día.

Antes de colocar los musgos en el soporte, se les extrajo toda contaminación que pudieran traer, por ejemplo tierra, plantas o insectos que estuvieran en el lugar. Posterior a la limpieza, se comenzaron a adherir los módulos sobre la malla raschel en el soporte con ayuda de pequeñas aplicaciones de silicona caliente para facilitar la unión entre superficies. Dado los tamaños del soporte, la alfombra de musgo quedó con una superficie de 300 mm de ancho por 300 mm alto.



Figura 81: Musgos previo a cosecha - Miguel Torres (2020)

La humidificación funcionó de manera correcta debido a que tiene varias salidas de niebla, lo que permitió el riego de toda la superficie vegetal. De este modo, al estar regulados ambientalmente los musgos, podrían producir sus funciones biorremediadoras correctamente.

El siguiente paso de investigación, corresponderá —en condiciones de laboratorio— a definir cuál es la capacidad biorremediadora de este musgo en particular y qué especies serían las más idóneas para este trabajo. Para ello, deben ser principalmente tolerantes a la ubicación artificial, al agua dura y a la acumulación de polvo. Las características antes señaladas contribuirían a un desarrollo óptimo de un artefacto remediador biofitario para espacios interiores.

A modo de especulación y proyección de posibles resultados del artefacto biorremediador, se tomó como referencia el estudio mencionado en el capítulo 5, de los coreanos Gong et al. (2019), quienes tomaron 3 especies de musgos nativos de zonas montañosas y los usaron en su investigación de degradación de contaminantes por briófitas.

El experimento consistió en medir las concentraciones de contaminantes artificialmente producidos, comparando resultados de la muestra de control con los arrojados en presencia de 2, 4 y 6 placas de 210 mm de ancho por 297 mm de largo, cubiertas uniformemente con musgos. Los resultados revelaron que —en lapsos de 4 horas—, entre más placas hayan, existe una mayor reducción de contaminantes como los COV, material particulado y CO₂, en todos los casos testeados.

Realizando un parangón proporcional con el tamaño del biofiltro ARB 1.0 y los promedios de disminución en presencia de dos placas según el experimento mencionado, podría haber una disminución de 252 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$ de material particulado y 0,34 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de COV. A esto, habría que agregar que el proyecto incluye un sistema de ventilación forzada por lo que aumentaría el contacto del medio aéreo con los musgos, lo que provocaría una mayor fijación de contaminantes.

A pesar de los posibles resultados positivos, es importante indagar en la relación real que tendrían los musgos con la reducción del CO₂. Asimismo, poder identificar qué especies son las más adecuadas para la fijación de este contaminante y también, explorar la posibilidad de modificaciones genéticas que permitan aumentar el proceso biorremediador del dióxido de carbono.



Figura 81: Musgos instalados - Elaboración Propia (2020)

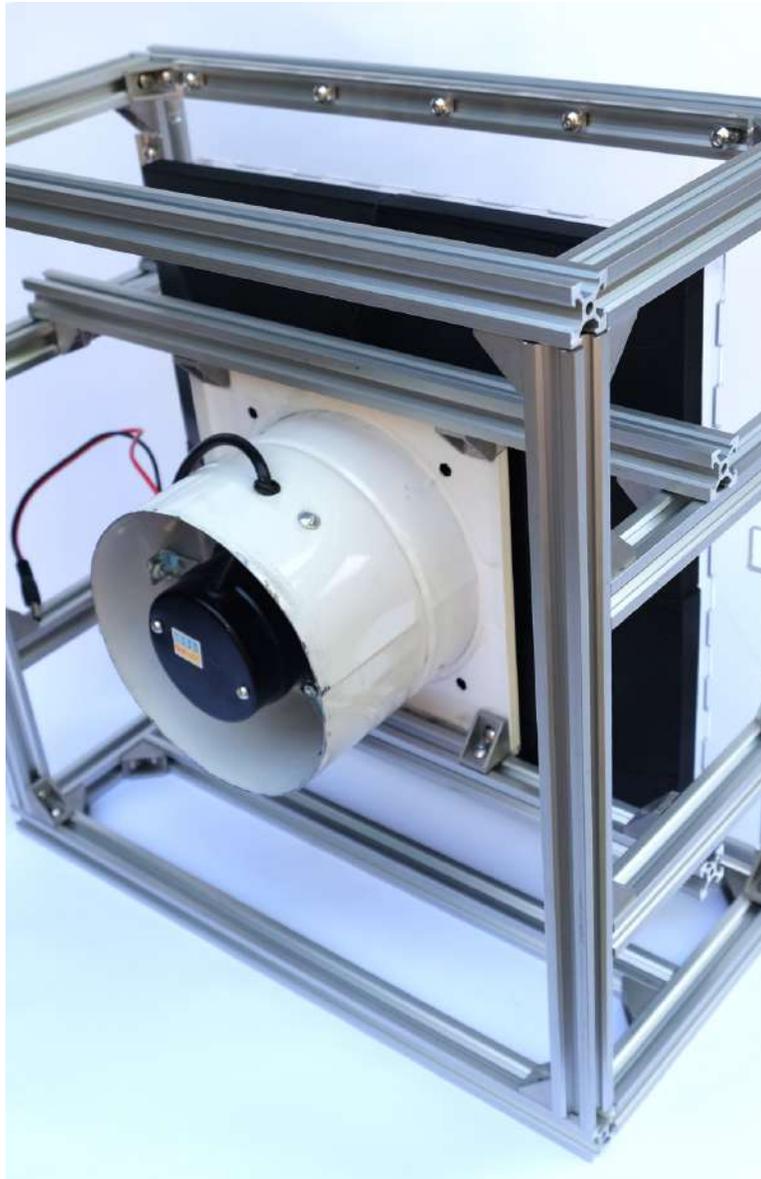


Figura 82: Ventilador instalado - Elaboración Propia (2020)

Sistema de ventilación for

Para poder absorber el aire del ambiente y que este pase por el medio vegetal, el artefacto cuenta con un extractor de aire metálico de tipo axial. Además, posee un motor de 40W, el cual puede llegar a 2.800 revoluciones por minuto y su capacidad de extracción de aire es de 250 m³/hora. Este mecanismo, fue acoplado a través de los ángulos de acero inoxidable de 2 travesaños ubicados especialmente dentro de la estructura para dar estabilidad al dispositivo.

El extractor será comandado por un Arduino Uno por medio de un relé —dispositivo electromagnético, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico (placa Arduino). El cual, a través de una bobina y un electroimán, permite abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes, en este caso: la conexión con la corriente alterna. El componente accionará en distintos ciclos de extracción de aire a lo largo del día, lo que permite hacer circular el aire por el biofiltro.



Figura 83: Sistema de ventilación instalado - Elaboración Propia (2020)

Luego del análisis de la prueba de concepto, se optó por producir una unión entre el soporte de las briófitas a modo de embudo, para encauzar el aire desde el exterior al ambiente y así, evitar pérdidas en la succión del medio que no haya sido filtrado por los musgos. Esta unión se realizó en impresión 3D en PLA. Luego se acopló al soporte de las plantas por un costado y se unió al extractor de aire por el otro lado.

El sistema respondió bien según los resultados esperados. Se obtuvo un caudal de ventilación de 220 m³/h promedio, que es mayor a los 150 m³/h que se tenían como referencia. En posibles iteraciones podría ser conveniente evaluar si la utilización de extractores con menor potencia podrían llegar a esos caudales o similares. Eso sería beneficioso para aplacar el ruido emitido por el extractor de aire, que es entre 30 y 35 db, lo cual se considera como moderado.

Humidificación

El sistema de riego utilizado para el primer prototipo es por humidificación, este contempla tres etapas: censado, producción de niebla y distribución, además de los componentes que permiten este proceso.

La primera fase del proceso, la define un medidor de Humedad Relativa DHT22 que se encuentra en el soporte de acrílico continuo a las briófitas. Este es capaz de detectar humedad, en un rango de 0% a 99.9% HR con una precisión de $\pm 2\%$. Con la ayuda de un microcontrolador de 8 bits integrado, el DHT22 convierte la señal analógica en una señal digital que se transmite a la placa Arduino y con una detección cada 10 segundos, irá evaluando la HR. Si es menor a 40% HR, activará el sistema de humidificación.

En la parte trasera del artefacto, hay un recipiente de acrílico transparente de 5 mm construido con ensambles hechos por corte láser. Las piezas fueron unidas por medio de un adhesivo químico (Cloroforomo, CHCl_3), el cual actúa mediante disolución fijando las piezas. Asimismo, se aplicó un sello de silicona termofusible sobre todas las aristas interiores para asegurar que no exista filtración de agua. El recipiente está afirmado a la estructura de hierro, mediante uniones impresas en PLA que fueron apernadas al soporte.

Dicho contenedor, alberga la reserva de agua, un generador de neblina y un ventilador que permite la circulación de esta. La producción

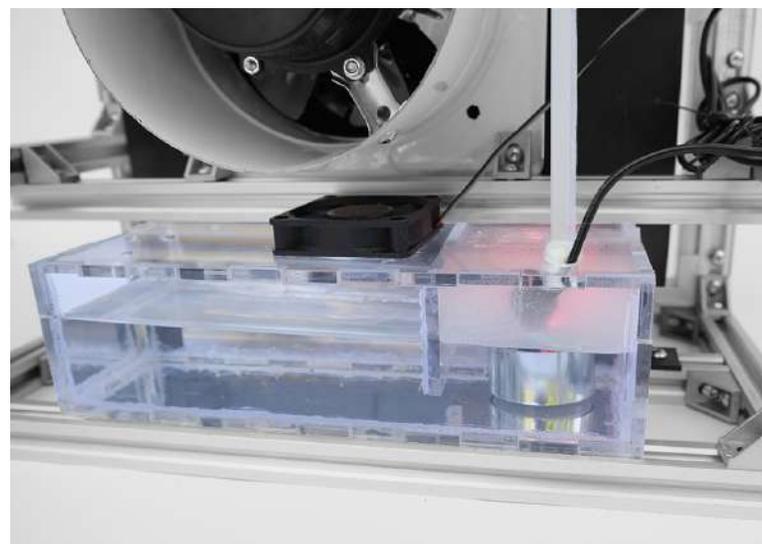


Figura 84: Sistema de producción de niebla - Elaboración Propia (2020)



Figura 85: Distribuidores de niebla - Elaboración Propia (2020)

de niebla, es decir la segunda etapa, está a cargo de un humidificador ultrasónico *Mist Maker* de una membrana cerámica, y de 25V. Este aparato, produce gotas de agua de entre 1 y 3 micras, a través de vibraciones de muy alta frecuencia (1,7 MHz) de una membrana cerámica. Cuando se activa el generador de neblina y está sumergido en agua, produce una niebla que aumenta las condiciones de humedad sin riesgos de condensación.

En resumen, el sistema funciona de siguiente manera: cuando el sensor indique un bajo nivel de HR, el Arduino dará una señal a Wun relé para activar el paso de corriente hacia el humidificador, el cual se activará y como estará en contacto con el agua, comenzará a producir microgotas. Al mismo tiempo, se encenderá el ventilador de 12V adosado al recipiente, que inyectará aire desde el exterior al interior de la caja para provocar un impulso de este y así, empujar la niebla con más fuerza hacia los musgos.

La distribución homogénea de la neblina producida, es la tercera etapa del sistema de riego. El movimiento de aire, tiene por objetivo que la neblina salga por un agujero (sobre el humidificador) ubicado en la tapa del recipiente, el cual conectará la producción de niebla, con el sistema de distribución de esta.

El fin es que la humedad generada, sea llevada hasta las briófitas. Esto se hará mediante un sistema de distribución hecho con canaletas de PVC, de 10 mm de ancho por 20 mm de alto —ideales por su bajo costo y porque tienen conectores en forma de L y T que facilitan la construcción—. Con estos perfiles poliméri-

cos, se construirá un recorrido para trasladar la niebla generada hasta el soporte de los musgos. Para lograr un riego uniforme, se creó un borde de canaletas continuo al marco de fierro que afirma la superficie de las plantas con 6 perforaciones equidistantes en cada lado, es decir, hay 24 puntos de expulsión de neblina. De esta forma, habrá una hidratación homogénea de las plantas.

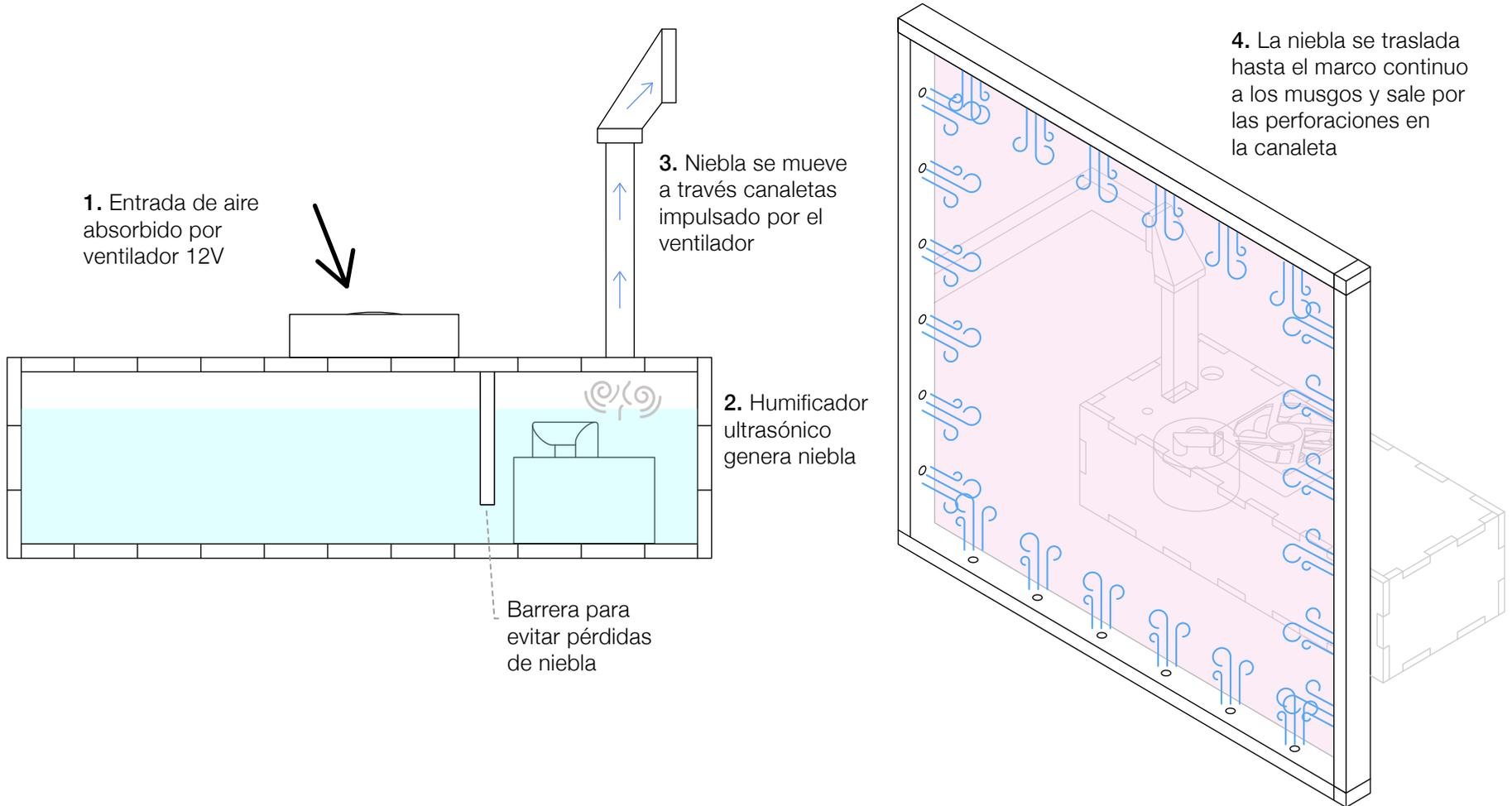


Figura 87: Flujo sistema de riego - Elaboración Propia (2020)



Figura 88: ARB 1.0 - Elaboración Propia (2020)

**UNIDAD
ECOSISTÉMICA**

09

09

Unidad ecosistémica

En seguida, se revisan las relaciones del artefacto: consigo mismo en la relación de los sistemas, con el espacio y las personas.

ARB 1.0 es conceptualizado como un artefacto: “objeto formado por un conjunto de piezas, fabricados para un fin determinado” (Oxford Language, s.f., definición 1). Todos sus sistemas trabajan en pos de mantener una unidad ecológica biorrefitoria autónoma y autosuficiente, catalizando sus capacidades biorremedadoras y maximizando el intercambio atmosférico. El sistema de humidificación, permite entregar el agua necesaria para la proliferación de las plantas no vasculares, el sistema de ventilación aumenta el contacto con el medio aéreo que tiene el biofiltro y los musgos. De esta manera, su metabolismo se enriquece desde el aire succionado, filtrando contaminantes presentes en los espacios cerrados.

Todo el conjunto de sistemas, se comportan como una unidad ecosistémica híbrida natural-sintética con repercusión en el espacio donde se encuentra inserta. Un simbiote compuesto por un componente biológico artificialmente asistido, permite aumentar el valor biorremediador propio de estos organismos primarios.

Para ejecutar las funciones de ARB 1.0, se usa un Arduino UNO, que es una placa con micro-

controladores que facilita el uso de la electrónica para proyectos multidisciplinarios. Esta genera la conexión electrónica necesaria para cada una de las partes, la cual es comandada por un software que permite programar el sistema de manera amigable. El arduino se conecta a un protoboard — tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, donde se pueden insertar cables y componentes eléctricos para el armado de prototipos—, lo cual permite el paso de la corriente para la emisión o recepción de señales. Al dar energía a la placa, por medio de un transformador de 12V, se activa su programación en dos procesos paralelos: humidificación y extracción de aire.

Humidificación

Como fue descrito antes, hay un sensor de HR denominado DHT22, el que medirá la humedad del ambiente cada 10 segundos. Si el dato entregado es menor a 40%, la placa enviará una señal a un relé que conecta el humidificador ultrasónico con un transformador de 25V, permitiendo el paso de corriente y la posterior acti-

vacación de este. El funcionamiento del sistema, se hizo cortando el cable del transformador y conectando sus partes al relé para poder tener un interruptor digital manejado desde el Arduino.

Para movilizar la niebla, la programación se activará por medio de un transistor —dispositivo electrónico semiconductor usado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada— a un ventilador de 12V. Los transistores cumplen una función similar a los relés, con la diferencia que resisten bajos voltajes, por lo tanto su implementación es óptima. Cuando comience a funcionar el ventilador, la neblina se moverá por medio del sistema de distribución para llegar hacia los musgos.

Mientras se esté ejecutando el sistema de humidificación, el sensor de HR seguirá tomando las condiciones ambientales con la misma periodicidad. Cuando detecte un índice de humedad mayor al 60%, el relé y el transistor que permiten la alimentación del humidificador y ventilador respectivamente, dejarán de emitir la señal, lo que apagará el interruptor digital y detendrá la acción de ambos componentes.

Ventilación

El sistema de ventilación, funciona con un extractor de aire metálico que está conectado a la corriente mediante un relé que comanda el paso de electricidad. Cada determinado lapso de tiempo (en el caso del primer prototipo, 90 minutos), la placa activa el relé permitiendo el paso de la corriente y la consecutiva activación

del motor del ventilador durante 10 minutos. Pasado este intervalo, este se detendrá.

Unión de sistemas

Los dos sistemas (humidificación y ventilación), se conectan al mismo Arduino y protoboard, y sus transformadores se enchufan a una regleta multicontacto. Todos estos componentes están en una caja (impresa en PLA) con dos compartimientos, que se encuentra anclada en la parte superior trasera de la estructura metálica. De esta forma, las conexiones eléctricas se distribuyen a los lugares necesarios en el prototipo. Finalmente, todo este mecanismo se acciona gracias a la regleta que permite alimentar los diferentes aparatos eléctricos de forma segura al mismo tiempo, con un único cable conectado al suministro eléctrico.

La convivencia entre el sistema de ventilación y humidificación podría ser consecutiva, ya que el extractor de aire, además de realizar su función original, podría tomar parte de la humedad del medio vegetal y trasladarlo a la habitación. Con este antecedente, la programación tiene como condicionante que cuando se active el extractor, deje de medir la HR hasta el fin del ciclo, para luego volver a sus funciones y posiblemente compensar la humedad perdida.

En seguida, se presenta un esquema de flujo de la programación y otro de las conexiones electrónicas de los componentes. Además, el código de programación puede encontrarse en el Anexo X.

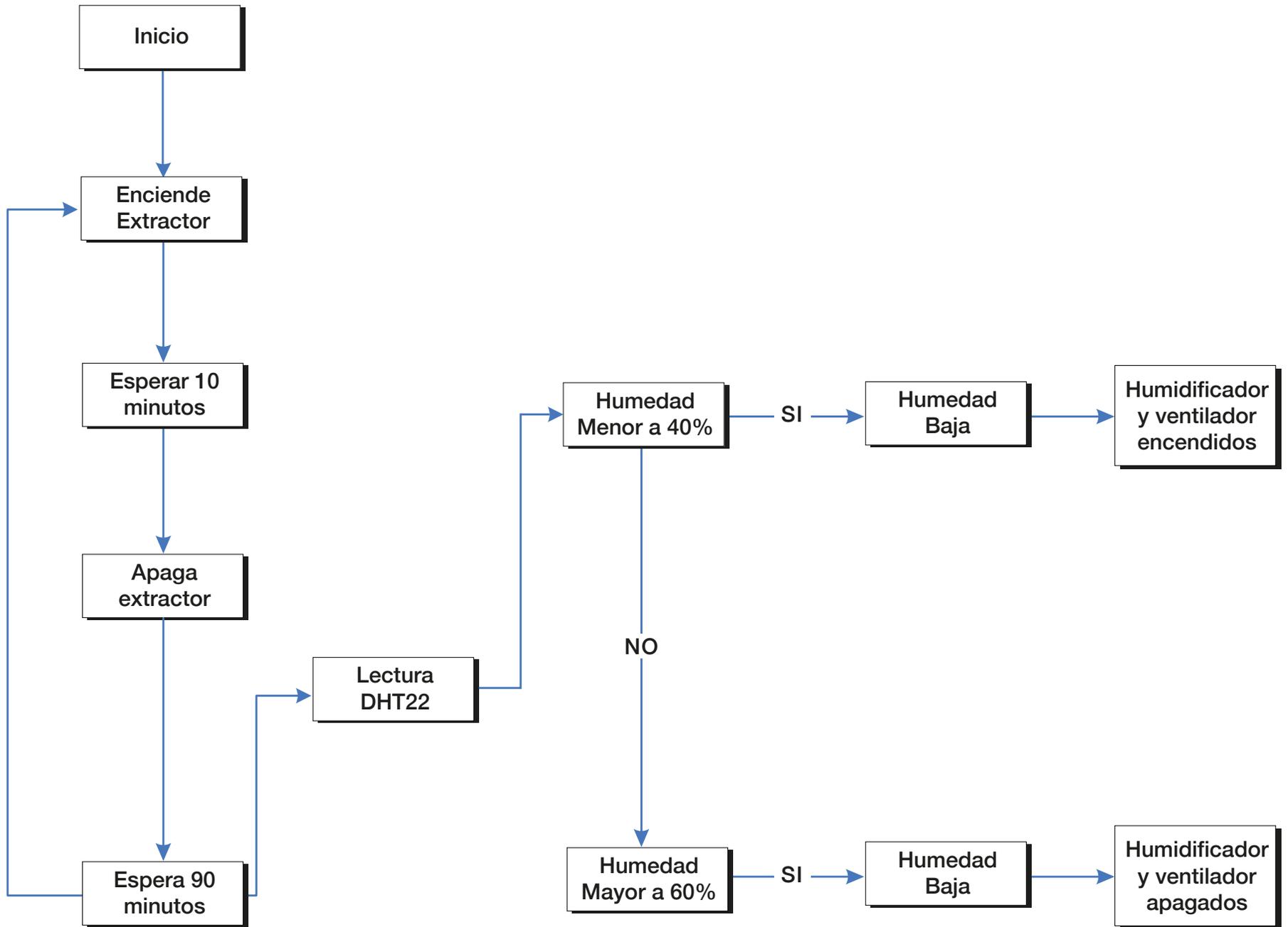


Figura 90: Diagrama de flujo de programación - Elaboración Propia (2020)

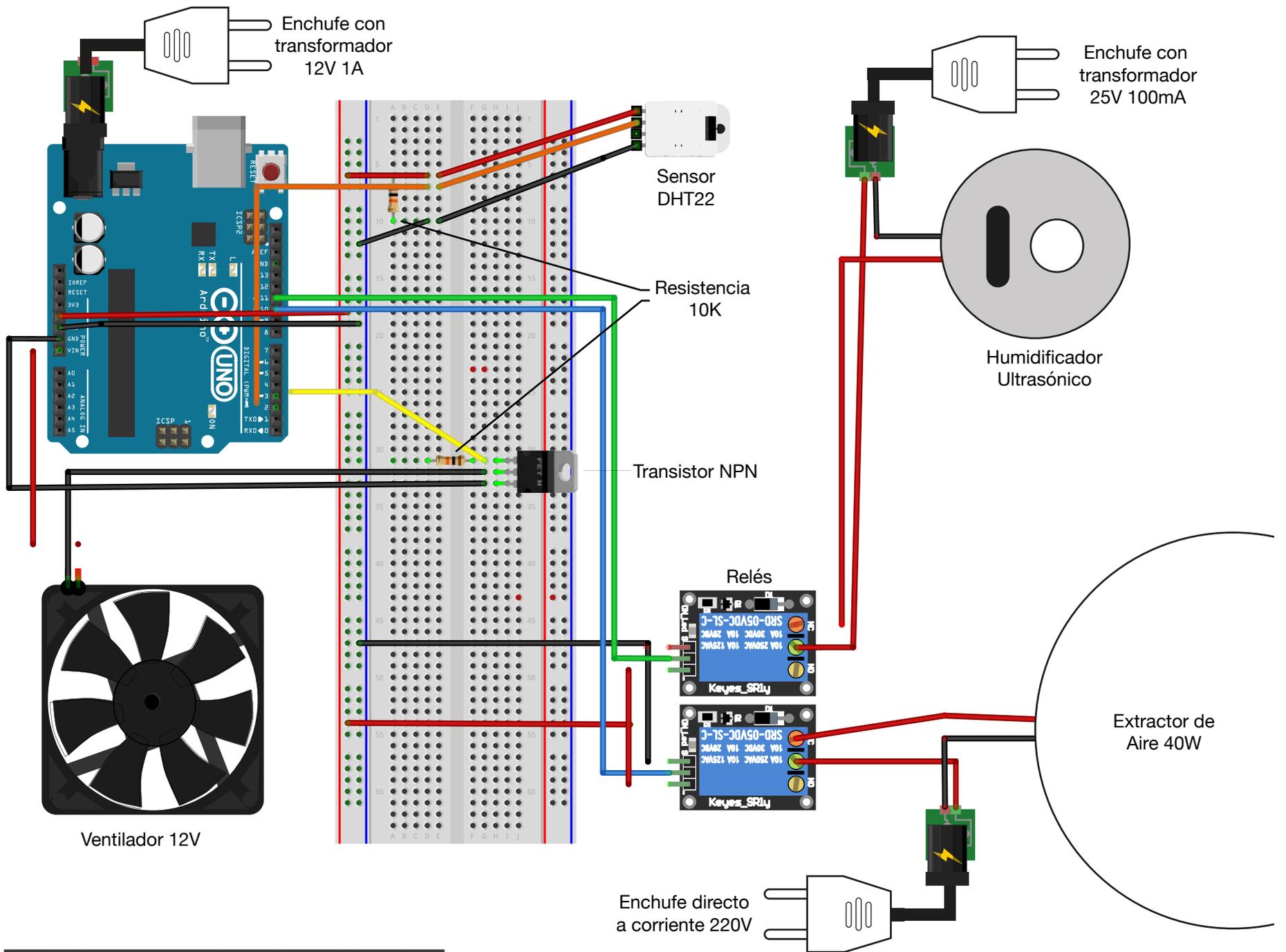


Figura 90: Componentes electrónicos - Elaboración Propia (2020)

Relación con el espacio

El artefacto ha sido proyectado para estar en espacios interiores habitados, por ende, es posible ubicarlo de diferentes maneras, aunque tiene como condicionante que no le llegue luz del sol directa y que tenga una conexión a la electricidad para dar corriente a sus sistemas. Se puede atornillar a la muralla con tornillos y tarugos, y agregándole ángulos de 90 grados a uno de los travesaños traseros. Si se instala en la pared, el autor estima conveniente que se posicione a 1,2 metros de altura mínima respecto al suelo, para que quede con un rango de visión para las personas. También se puede dejar simplemente sobre un mueble.

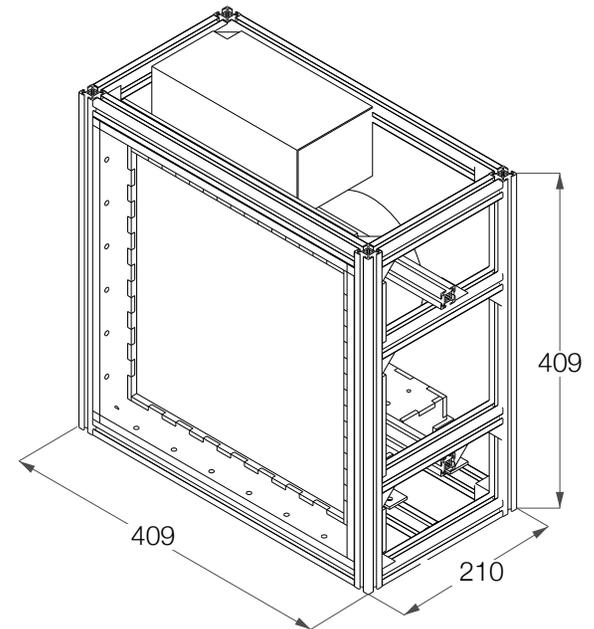


Figura 91: Dimensiones ARB 1.0 - Elaboración Propia (2020)

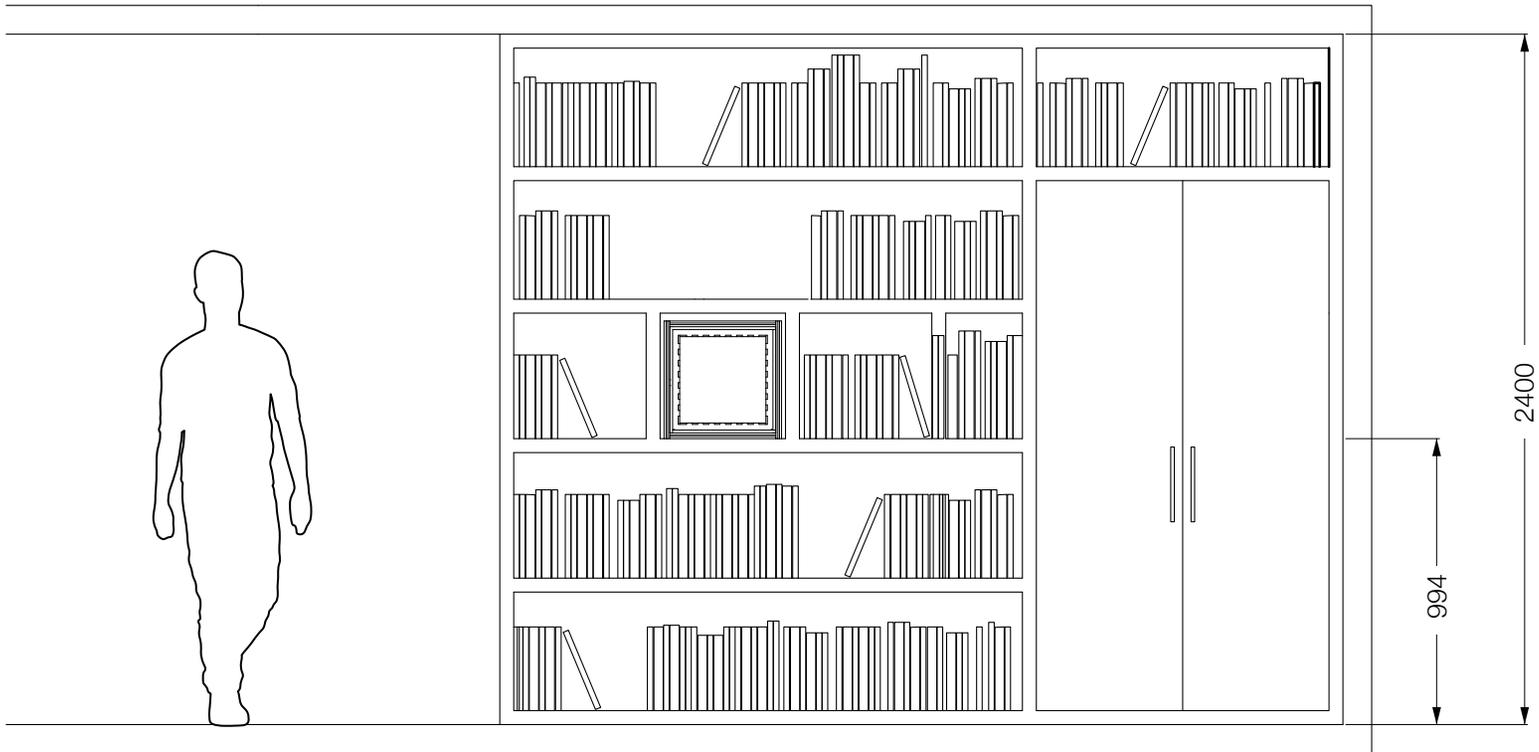


Figura 92: Elevación en milímetros - Elaboración Propia (2020)t

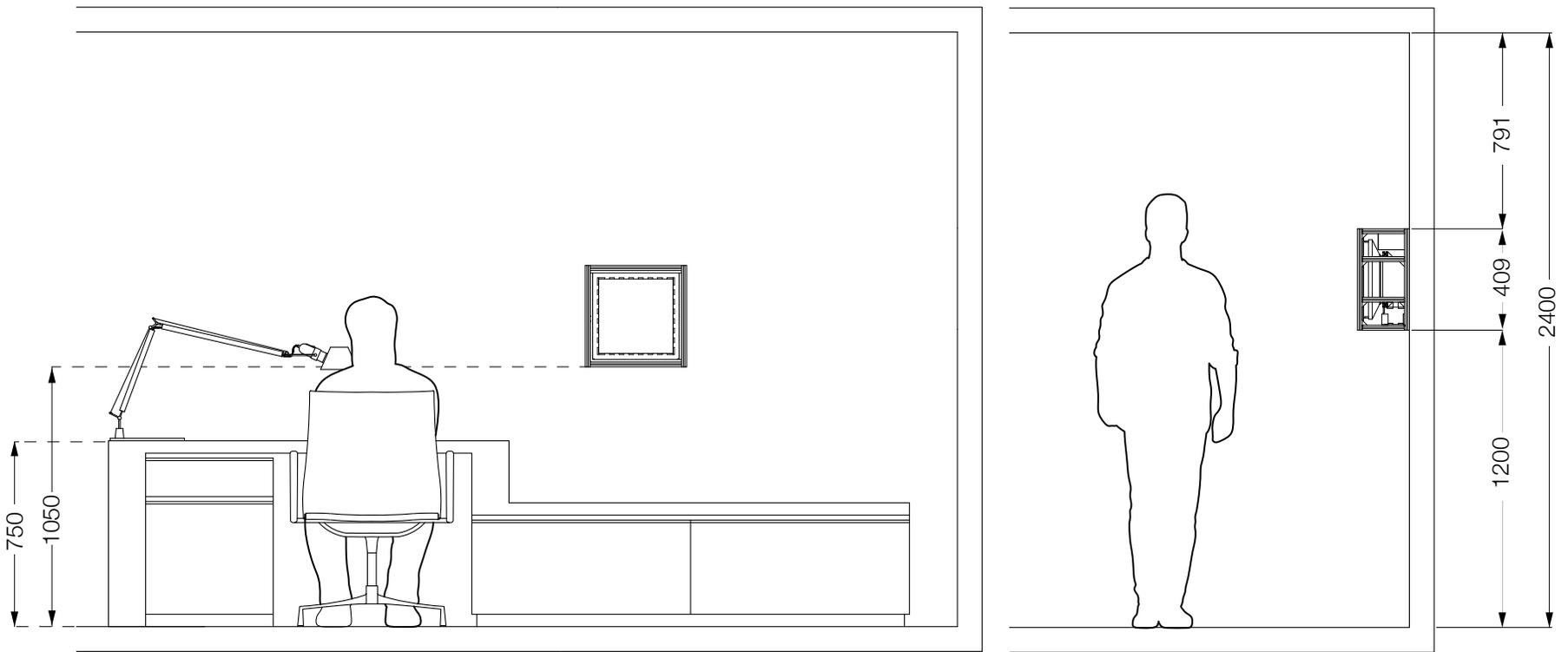


Figura 93: Elevaciones en milímetros - Elaboración Propia (2020)

Presupuesto

Artículo	Unidades	Precio
Corte láser	1	0
Acrílico 5 mm transparente	0,46 m ²	11.877
Impresión 3D	5	0
Filamento PLA 1.75 mm negro (impreso)	400 gr	7.960
Musgos	1	12.000
Canaletas	2	620
Uniones canaletas	6	2.240
Humidificador ultrasónico Mist Maker	1	13.000
Extractor de aire metálico 40W	1	19.890
Relé doble	1	2.800
Arduino UNO	1	5.990
Protoboard	1	990
Varios de electrónica	-	500
Perfil V-Slot 20x20 mm	6 m	48.848
Uniones 90 grados para perfiles V-Slot	28	29.610
Pernos allen M5 8 mm	100	13.163
Tuercas-T M5	100	14.940
Total		184.648

* Presupuesto en pesos chilenos incluyendo IVA

** Las compras fueron realizadas en Chile en comercio minorista, se estima sustancial baja al comprar con precio mayorista o en el extranjero

IMPLEMENTACIÓN PROPUESTA I+D

10

Implementación propuesta I+D

Investigación y Transferencia desde una aproximación biológicamente inspirada (BID)

El proyecto es una investigación objetual de diseño, bajo una aproximación biológicamente inspirada (Lenau, Metze & Hesselberg, 2018), que en una perspectiva de código abierto prevé una transferencia e implementación cuando se encuentre en páginas de proyectos open source de desarrollo colectivo. Para que personas a lo largo del mundo, puedan descargar, modificar, construir y programar sus propios artefactos remedidores biofitarios.

Para ejecutar la distribución del diseño, la estrategia consistiría en una serie de etapas que se detallan a continuación. En primer lugar, se crearía una página web que albergase toda la información del proyecto, con sus respectivos componentes, planos, programación, proceso constructivos y recomendaciones en formato descargable. A la vez, tendría una sección que diese cuenta de los resultados potencialmente realizados por otras personas y así, demostraría las diferentes visiones que puede tener un mismo concepto en diferentes proyecciones.

Posteriormente, la información para la producción del biorremediador sería subida a diferentes plataformas de proyectos de código abierto. Por ejemplo, algunas páginas destacadas: Instructables, sitio especializado en proyectos Do

It Yourself (Házlo tú mismo - DIY) creados y cargados por usuarios, actualmente propiedad de Autodesk cuya comunidad tiene 30 millones de usuarios mensuales; Project.Fablab.io, repositorio de proyectos de fabricación digital de la Fab Foundation^[18] y Wikifactory, una plataforma social de desarrollo colaborativo de producto. De esta manera, se cubriría la mayor cantidad de flancos posibles para visibilizar el proyecto.

No obstante, los resultados preliminares de la propuesta cumplen a cabalidad los objetivos planteados en durante el desarrollo del proyecto de título, un aspecto importante interpela al autor como investigador para poder nutrir y definir de mejor manera el factor biológico presente en ARB 1.0. La elección de la especie de briófitas estuvo supeditada a los organismos disponibles, su capacidad de propagación y su rendimiento como remediador ambiental. Es innegable que el potencial de un desarrollo biotecnológico podría infundir al sistema de organismos especializados para la remoción de contaminantes, la resistencia ante el stress hídrico y el potencial de tolerar alzas de temperaturas producidas por sistemas de calefacción intra domiciliario.

Estas mejoras trascienden los objetivos planteados en esta investigación pero son posibles de alcanzar con la ampliación del equipo de trabajo, la protección de la invención y la postulación a fondos de investigación y desarrollo.

Frente a esto, el proyecto se aleja por el momento de su horizonte maker, con el propósito de poder realizar una investigación y desarrollarla de manera más acabada y definida, tanto

a nivel de línea investigativa como formal, para posteriormente abrirlo a la comunidad.

Este proceso contará con dos etapas. La primera, actualmente en proceso —que a priori parece ser contraproducente con lo descrito en el Capítulo 7 sobre los procesos de industrialización y sus implicancias— es el registro industrial del proyecto. Con el fin de proteger los objetivos de ser un proyecto maker y que no pueda ser usurpado por intereses de industriales durante el desarrollo.

Este es un paso clave para lograr el objetivo abierto que se plantea, pues permitiría la libre investigación y desarrollo del proyecto de diseño. Dicho proceso se realizará por medio de la Dirección de Transferencia y Desarrollo de la Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile y su concurso de Patentar para Transferir con la ayuda del profesor Alejandro Durán, postulación realizada el día 23 de octubre del año 2020, que se encuentra en el *anexo 4*.

Esta primera etapa, además de proteger los intereses de transferencia abierta que tiene el proyecto, son un antecedente clave para la postulación a fondos de investigación y desarrollo —como el XI Concurso de Valorización de la Investigación en la Pontificia Universidad Católica de Chile o el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) en su línea de Investigación y Desarrollo en Acción (IDeA)— que se trabajará durante noviembre de 2020.

↳ [18] Fab Foundation: Fundación que facilita y apoya el crecimiento de la red internacional de laboratorios de fabricación digital

En esta misma línea, el equipo de investigación ha organizado reuniones con los encargados en transferencia del Departamento de Transferencia y Desarrollo para la consolidación del equipo de investigadores que complementarán desde los aspectos electrónicos del proyecto, mientras que el trabajo del profesor Durán con la Facultad de Ciencias Biológicas UC ha permitido el establecimiento de alianzas con los investigadores y la dirección de Pregrado, interesados en promover este trabajo desde espacios cooperativos de investigación interdisciplinar.

De esta manera, junto al reclutamiento de un equipo interdisciplinario, compuesto por profesionales de ciencias biológicas, microbiología ambiental e ingeniería eléctrica, se podrá evaluar la real capacidad biorremediadora del artefacto en un laboratorio con simulaciones atmosféricas. Luego de aquellas experimentaciones, se podrán definir las especies más idóneas para esta función, evaluar y experimentar alteraciones genéticas en briófitas para potenciar su capacidad biorremediadora y al mismo tiempo, lograr hacer más eficiente el sistema electrónico del prototipo.

A pesar de ser un camino más largo y complejo a recorrer, permite desarrollar y afinar una línea investigativa con un gran potencial y poco desarrollada en el país. Así después, poder compartirlo desde un punto de vista de diseño abierto a la comunidad maker y de Fablabs. Lo que permitiría potenciar la creación y modificación local de artefactos de remediación de espacios cerrados contaminados, por medio del trabajo conjunto de briófitas y la tecnología.

Reflexión Personal

Poder desarrollar un proyecto en torno a una problemática invisible ha sido un desafío conceptual constante. A pesar de todo el tiempo que las personas viven dentro de espacios interiores, es difícil cuestionarse cómo su pasar en esos lugares podría verse realmente afectado, y qué tanto se podría mejorar estas condiciones para mejorar la vida de las personas.

Los espacios interiores públicos son un eje de la génesis social, lugares donde las personas se relacionan de manera cívica o para cubrir sus necesidades. Si es que las condiciones de estos espacios no son las adecuadas para ser utilizados, se atenta a la esfera pública desde una perspectiva ambiental y de salud, repercutiendo en la performance de las personas en sus lugares de paso o estancia.

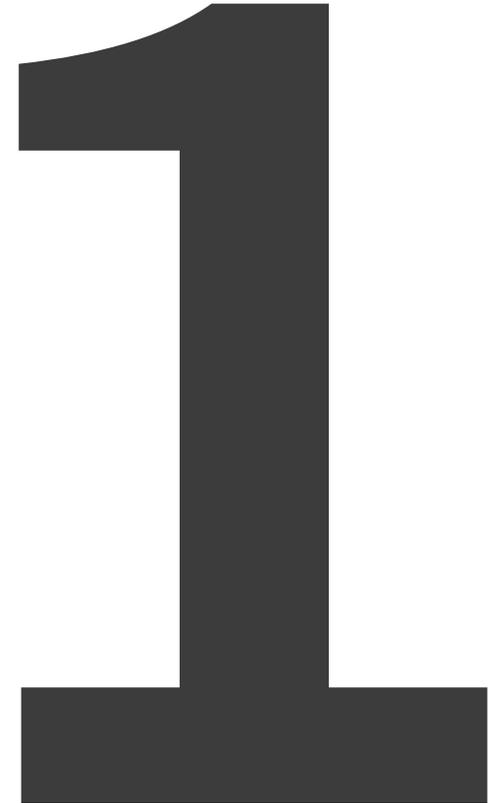
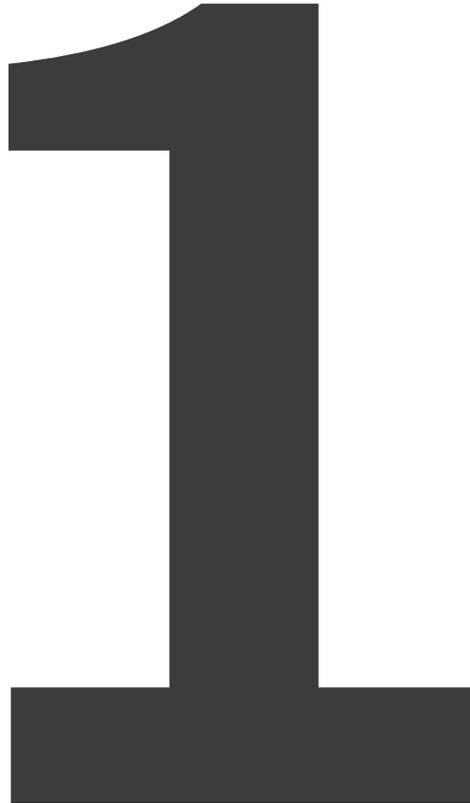
ARB 1.0 nace como desde un cuestionamiento a cómo el humano ha ido encerrándose, alejándose de la naturaleza, reemplazando los ecosistemas naturales por urbanos, produciendo descompensaciones en equilibrio que requieren los seres vivos.

La presencia y experimentación con plantas, me permitió plantearme otras velocidades de tiempos y reacciones a fenómenos que rodean las plantas. Estos ojos humanos son más lentos y aparentemente estáticos, pero utilizándolos con más tiempo, están llenos de respuestas, movimientos y vida. Por primera vez tuve un acercamiento real a procesos de diseño con plantas, y sin duda alguna es un camino que parece extremadamente interesante para

seguir investigando y experimentando en un futuro cercano.

El proyecto pone su mirada en lo público, pero lo hace desde lo público, en su ideación y construcción gracias a la amplia cantidad de información de código abierto disponible. Por lo que en un momento del proceso, se vuelve menester devolverlo de la misma manera, con el fin de ser un aporte conceptual y práctico a futuras creaciones en cualquier parte del mundo. Haber tomado esta posición para la futura transferencia, me reafirmó contundentemente la necesidad personal de crear y compartir lo diseñado, perspectiva clave que me gustaría desempeñar en mi futuro como diseñador. Porque la creación de conocimiento cuando es compartida, avanza más rápido y permite pensar el problema desde más perspectiva, permitiendo dar respuestas más completas y contundentes.

REFERENCIAS



Bibliografía

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental health perspectives*, 124(6), 805-812.
- Andrade Gallardo, S. (2008). Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas. Departamento de Seguridad Minera Diseño Multimedia: Depto. de Informática SERNAGEOMIN.
- Ardiles, V., Montenegro, R., & Veloso (2016). Módulo de exhibición: Briorfitario integrando diseño, tecnología y flora no vascular en las exhibiciones temporales del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile.
- ASHRAE (1999) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, vol. 10, pp. 22-23. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Benner, A. (2019) Beneficial characteristics of moss. AEC1206 Live Moss Wellness Walls: Soothing the Senses and Revitalizing Indoor Air (pg. 33). AEC Daily Corporation.
- Borja, J., Muxí, Z. (2000). El espacio público: ciudad y ciudadanía.
- Bourdieu, P. (1999). La miseria del mundo (Vol. 1). Ediciones Ákal.
- Brasche, S., Bullinger, M., Gebhardt, H., Herzog, V., Hornung, P., Kruppa, B., Meyer, E., Morfeld, M., Schwab, R. V., Mackensen, S., Winkens, A. and Bischof, W. (1999). 'Factors Determining Different Symptom Patterns of Sick Building Syndrome – Results From a Multivariate Analysis', in Proceedings of Indoor Air '99. The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, Scotland, August, 1999, pp. 402-407.
- Brown, D. C., & Blessing, L. (2005). The relationship between function and affordance. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 4742, pp. 155-160).
- Brown, S. K., Sim, M. R., Abramson, M. J., & Gray, C. N. (1994). Concentrations of volatile organic compounds in indoor air—a review. *Indoor air*, 4(2), 123-134.
- Campusano, R. (2012). Síndrome del edificio enfermo. *Revista SustentaBit*. Recuperado de <http://colegioarquitectos.com/noticias/wp-content/uploads/2012/02/Rev-SustentaBit.pdf>
- Carli, E., Ruiz, J. C. (2009). Espacios Públicos y cohesión social. Intercambio de experiencias y orientaciones para la acción. Santiago de Chile: Universidad Alberto Hurtado.
- Carrión, F. (2007). Espacio público: punto de partida para la alteridad. Espacios públicos y construcción social. *Hacia un ejercicio de ciudadanía*, 79-97.

- Cerrillo, A. (2011) Las áreas verdes mejoran el bienestar, pero pocas ciudades resaltan este valor. *La Vanguardia*. Recuperado de www.lavanguardia.com
- Clive, D. (2010). Gran enciclopedia del saber - Arquitectura. National Geographic Society.
- Código Civil. Art 589. (2020) Vigésima edición.
- Cronembold Landivar, S. (2009). Estudio de ventilación en viviendas. Repositorio Universidad de Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103496/cf-cronembold_sl.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory (2020) Global Monthly Mean CO2. ESRL NOAA. Recuperado de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- El Desconcierto. (2014). Ataques de pánico en el Metro: otra consecuencia del colapso diario. *El Desconcierto*, 8 septiembre 2014.
- Enríquez, A., & Sáenz, C. (2012). Estrategias de ciudad y cohesión social local.
- Ferrelli, R. M. (2015). Cohesión social como base para políticas públicas orientadas a la equidad en salud: reflexiones desde el programa EUROso-ciAL. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 38, 272-277.
- Garbisu, C., Amézaga, I., & Alkorta, I. (2002). Biorremediación y ecología. *Revista Ecosistemas*, 11(3).
- Garzón, J. M., Rodríguez-Miranda, J. P., & Hernández-Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud*, 19 (2), 309-318.
- Glime, J. M. (2007). Economic and ethnic uses of bryophytes. *Flora of North America*, 27, 14-41.
- Gong, G. Y., Kang, J. S., Jeong, K. J., Jeong, J. H., & Yun, J. G. (2019). Effect of Several Native Moss Plants on Particulate Matter, Volatile Organic Compounds and Air Composition.
- Govindaparyi, H., Leleeka, M., Nivedita, M., & Uniyal, P. L. (2010). Bryophytes: indicators and monitoring agents of pollution. *NeBIO*, 1(1), 35-41.
- Gutiérrez F. & Albanchez, I. (2010) *Botánica*. Ed. Firms Press. Montevideo, Uruguay. 172 p.
- Han, K. T. (2003). A reliable and valid self-rating measure of the restorative. *Landscape and Urban Planning*, 64(4), 209-232.
- Han, K. T. (2009). Influence of limitedly visible leafy indoor plants on the psychology, behavior, and health of students at a junior high school in Taiwan. *Environment and Behavior*, 41(5), 658-692.
- li, H., Taguchi, K., & Yamashita, M. (2016). Natural ventilation effect on CO2 concentration in the classroom, Wakayama University, Japan. *International Journal*, 10(21), 1936-1942.
- Innerarity, D. (2006). *El nuevo espacio público* (p. 48). Madrid: Espasa Calpe.

- Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989). *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. CUP Archive.
- Kaplan, R., Kaplan, S. & Ryan, R. (1998). *With People in Mind: Design and Management of Everyday Nature*. Washington DC: Island Press.
- Lenau, T. A., Metze, A. L., & Hesselberg, T. (2018). Paradigms for biologically inspired design. In *Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication VIII* (Vol. 10593, p. 1059302). International Society for Optics and Photonic
- Llewellyn, D., & Dixon, M. (2011). 4.26 Can plants really improve indoor air quality. *Comprehensive Biotechnology (Second Edition)*, Academic Press, Burlington, 331-338.
- Marmot, M., Allen, J., Goldblatt, P., Boyce, T., McNeish, D., Grady, M., & Geddes, I. (2010). *The Marmot review: Fair society, healthy lives. Strategic review of health inequalities in England post-2010*. London: The Marmot Review.
- Menichinelli, M., Bosqué, C., Troxler, P., Raspanti, C., Schaub, A., & Neves, H. (2015). *Fab Lab: La révolution est en marche*. Pyramyd.
- Metro de Santiago. (2018). *Memoria Anual Metro de Santiago*, Santiago de Chile: Metro.
- Narváez Peña, M., Villa Collar, C., & Rodríguez Martín, J. L. (2015). Los ambientes interiores (iluminación, temperatura y humedad) en edificios de oficinas y su repercusión en la superficie ocular.
- National Aeronautics and Space Administration. (1974). *Proceedings of the Skylab Life Sciences Symposium, 27-29 agosto, 161-168*. NASA TM-X-58154. Houston, TX: Johnson Space Center.
- National Aeronautics and Space Administration. (2006) *Closing the Loop: Recycling Water and air in Space*. NASA. Recuperado de [https://www.nasa.gov/pdf/146558main_RecyclingEDA\(final\)4_10_06.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/146558main_RecyclingEDA(final)4_10_06.pdf)
- Norman, D. A. (1998). *La psicología de los objetos cotidianos* (Vol. 6). Editorial Nerea.
- Omora, F. (2004). *Explorando la Micro-Biodiversidad del Cabo de Hornos*
- Ortiz, F. (2020). Encuentro nacional de diseño abierto y distribuido. Casos de éxito internacionales de Diseño Abierto o Manufactura Distribuida. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=j_QnatJEgIM&ab_channel=Sinestesi-aThink%26DoTank
- Ortiz, J. (2018). *Muros vivos que limpian la ciudad*. CEDEUS. Recuperado de: <https://www.cedeus.cl/muros-vivos-limpian-el-aire-de-la-ciudad/>
- Ottone, E., Sojo, A., & CEPAL, N. (2007). *Cohesión social: inclusión y sentido de pertenencia en América Latina y el Caribe*.
- Oxford Language. (s.f.). *Lexico*. Recuperado de <https://www.lexico.com/es/definicion/artefacto>
- Papanek, V. (1977). *Diseñar para el mundo real: ecología humana y cambio social*. Ciencia, Tecnología, Sociedad/Dirg. por Luis A. Fernández-Galiano.

- Pegas, P. N., Alves, C. A., Nunes, T., Bate-Epey, E. F., Evtyugina, M. & Pio, C. A. (2012). Could houseplants improve indoor air quality in schools? *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 75(22-23), 1371-1380.
- Persily, A. K., & Gorfain, J. (2008). Analysis of ventilation data from the US. Environmental Protection Agency Building Assessment Survey and Evaluation (BASE) Study, NISTIR-7145-Revised. US National Institute of Standards and Technology.
- Precious Plastic (S.f) About. Precious Plastic. Recuperado de <https://preciousplastic.com/>
- Redhat. (S.f) ¿Qué es el Open Source?. Redhat Recuperado el de <https://www.redhat.com/es/topics/open-source/what-is-open-source>
- Rivero, T., & Schulmeyer, M. K. (2018). El impacto del medio ambiente en estudiantes universitarios. Percepción del efecto restaurador de imágenes naturales y urbanas. *Ajayu. Órgano de Difusión Científica del Departamento de Psicología UCB-SP*, 16(1), 150-171.
- Rojas, M. (1993). *Fisiología vegetal aplicada* (4a. ed.). México: Interamericana/McGraw-Hill.
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental health perspectives*, 120(12), 1671-1677.
- Schires, M. (2019) La importancia de diseñar contemplando una buena calidad de aire interior. *Plataforma Arquitectura*. (Trad. Castro, Fernanda) *Plataforma Arquitectura* Recuperado de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/916475/la-importancia-de-disenar-contemplando-una-buena-calidad-de-aire-interior>
- Schlack, E. (2007). Espacio público. *ARQ* (Santiago), (65), 25-27.
- Soria, A. & Ron, E. (1995). Los briófitos y el medio urbano. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (751), 96-101.
- Subils, M. J. B., & Domínguez, F. B. (2000). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Centro nacional de condiciones de trabajo-Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España.
- Taylor, A. F., Kuo, F. E. & Sullivan, W. C. (2001). The surprising connection to green play settings. *Environment and behavior*, 33(1), 54-77.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., & Rose, J. M. (2013). Seis pasajeros por metro cuadrado: Efectos del hacinamiento en la oferta de transporte público, el bienestar de los usuarios y la estimación de demanda. XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. Santiago de Chile, 21-25 octubre 2013.
- Tironi, E., & Bannen, S. (2008). *La cohesión social latinoamericana*. Santiago: Uqbar.

UNFPA. (2007). State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth. In State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth. UNFPA.

Urry, J. (2005). Sociologie des mobilités. París: Armand Colin.

Vargas, F., & Gallego, I. (2005). Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud. Revista española de salud pública, 79, 243-251.

Wolverton, B. C., Johnson, A., & Bounds, K. (1989). Interior landscape plants for indoor air pollution abatement.

World Health Organization Regional Office for Europe. (2008). Sick building syndrome. ONU. Recuperado de www.wondermakers.com/Portals/0/docs/Sick%20building%20syndrome%20by%20WHO.pdf

Zhang, J. J., & Smith, K. R. (2003). Indoor air pollution: A global problem. British Medical Bulletin, 68, 209-225.

Figuras:

Figura 1: La Segunda. (2018). Colapso Línea 5. [Fotografía]. Recuperado de: static.emol.cl/emol50/Fotos/2019/02/05/file_20190205092017.jpg

Figura 2: Rebouças, N. (2020). Santiago. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/@nathanareboucas

Figura 3: Solá, X. G. (2012). Edificio y diferentes fuentes de contaminantes de interior. [Diagrama] Recuperado de: Solá, X. G. (2012). Capítulo 44 Calidad del aire interior. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

Figura 4: Solá, X. G. (2012). Síntomas y enfermedades relacionados con CAI. [Diagrama] Recuperado de: Solá, X. G. (2012). Capítulo 44 Calidad del aire interior. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

Figura 5: Satish et al. (2016) Dominios SMS. [Diagrama] Recuperado de: Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. Environmental health perspectives, 124(6), 805-812.

Figura 6: Satish et al. (2012) Resultados de investigación. [Gráfico] Recuperado de: Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. Environmental health perspectives, 120(12), 1671-1677.

Figura 7: Satish et al (2012) Condiciones ambientales simuladas [Gráfico] Recuperado de: Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance.

Figura 8: Satish et al. (2016) Puntuaciones promedio de función cognitiva. [Gráfico] Recuperado de: Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental health perspectives*, 124(6), 805-812.

Figura 10: 24 Horas. (2017). Registro civil. [Fotografía] Recuperado de: www.24horas.cl/nacional/funcionarios-del-registro-civil-inician-movilizacion-de-advertencia-2562680

Figura 13: Luo, M. (2019) Ventilation. [Fotografía]. Recuperado de: <https://unsplash.com/photos/RAliDqgJKbE>

Figura 14: Akulich, S. (2018) Building ventilation. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/hFBFC5YmIck

Figura 15: Andrade, S. (2020) Sistemas de ventilación minas. [Dibujo]. Recuperado de: Andrade Gallardo, S. (2008). Guía metodológica de seguridad para proyectos de Ventilación de Minas. Departamento de Seguridad Minera Diseño Multimedia: Depto. de Informática SERNAGEOMIN.

Figura 16: National Aeronautics and Space Administration. (2006) Closing the Loop: Recycling Water and air in Space. Extraído de: [www.nasa.gov/pdf/146558main_RecyclingEDA\(final\)4_10_06.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/146558main_RecyclingEDA(final)4_10_06.pdf)

Figura 17: Thompson, K. (2018) Greenhouse. [Fo-

tografía]. Recuperado de: www.kylethompsonphotography.com

Figura 18: Ho Lee, M. (2006). Tree 10. [Fotografía]. Recuperado de: www.yosimillo.com

Figura 19: Nasser, N. (2018). Plant. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/xljt-GZ2-P3Y

Figura 20: Plant Solutions (2020) Living Plant Walls. [Fotografía]. Recuperado de: www.plantsolutions.com/services/plant-walls/

Figura 21: Prat, F. (2009). Vegetal Bus Stop. [Dibujo]. Recuperado de: www.designboom.com/project/vegetal-bus-stop/

Figura 22: Che, X. [2015]. Lives Glass. [Fotomontaje]. Recuperado de: www.behance.net/gallery/28194527/Lives-Glass

Figura 23: Dalgial. (2008). *Lampranthus spectabilis*. [Fotografía]. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Lampranthus_spectabilis#/media/Archivo:Lampranthus_spectabilis_3.JPG

Figura 24: Ran, R. (2017). Interior Plants. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/bBiuSdck8tU/

Figura 25: Llewellyn & Dixon. (2011) Biofiltración Botánica Asistida. [Dibujo]. Llewellyn, D., & Dixon, M. (2011). 4.26 Can plants really improve indoor air quality. *Comprehensive Biotechnology* (Second Edition), Academic Press, Burlington, 331-338.

Figura 26: Lehanneur, M. (2008). Andrea. [Fotografía]

Recuperado de: www.mathieulehanneur.fr/works

Figura 27: Naava. (2020) Naava. [Fotografía] Recuperado de: www.naava.io

Figura 28: Nedlaw Living Walls. (S.f.) Living Walls. [Fotografía]. Recuperado de: <http://nedlawlivingwalls.com/>

Figura 29: Clairly. (S.f) Clairly. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.ippinka.com/blog/clairy-beautiful-natural-air-purifier/>

Figura 30: MossClone. (2015). MOSSphere. [Fotografía]. Recuperado de: <http://www.mossclone.eu/>

Figura 31: Gong, et al. (2019) Resultados experimento absorción de material particulado por dos especies distintas y diferentes cantidades de musgos. [Gráfico]. Recuperado de: Gong, G. Y., Kang, J. S., Jeong, K. J., Jeong, J. H., & Yun, J. G. (2019). Effect of Several Native Moss Plants on Particulate Matter, Volatile Organic Compounds and Air Composition.

Figura 32: Hernández, A. (2020). Musgos y líquenes. [Fotografía] Recuperado de: www.unsplash.com/photos/sF4grblu6sE

Figura 33: Green City Solutions. (2015) CityTree. [Fotografía]. Recuperado de: <https://naturvation.eu/nbs/oslo/citytree>

Figura 34: University of Stuttgart. (2017). Green Wall. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.dw.com/en/stuttgart-builds-moss-covered-wall-to-fight-air-pollution/a-37866760>

Figura 35: Verdure Wellness Walls. (2019). Bloomsday Cafe. [Fotografía] Recuperado de: www.mosswalls.com

Figura 36: Benner, A. (2019) Sistema Verdure. [Dibujo]. Recuperado de: Benner, A. (2019) En Beneficial characteristics of moss. AEC1206 Live Moss Wellness Walls: Soothing the Senses and Revitalizing Indoor Air (pg. 33). AEC Daily Corporation.

Figura 37: Benner, A. (2019) Resultados experimento de contaminación en presencia de Verdure. [Gráfico]. Recuperado de: Benner, A. (2019) En Beneficial characteristics of moss. AEC1206 Live Moss Wellness Walls: Soothing the Senses and Revitalizing Indoor Air (pg. 33). AEC Daily Corporation.

Figura 38: Ardiles, et al. (2016) Briofitario en exhibición. [Fotografía]. Recuperado de: Ardiles, V., Montenegro, R., & Veloso (2016). Módulo de exhibición: Briofitario integrando diseño, tecnología y flora no vascular en las exhibiciones temporales del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile.

Figura 39: Ardiles, et al. (2016) Diagrama de flujo referente al funcionamiento del soporte tecnológico del briofitario. [Diagrama]. Recuperado de: Ardiles, V., Montenegro, R., & Veloso (2016). Módulo de exhibición: Briofitario integrando diseño, tecnología y flora no vascular en las exhibiciones temporales del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile.

Figura 40: Sagar, P. (2020). Moss. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/QHASyHzBktE

Figura 41: Mosstika Urban Greenery. (S.f). Graffiti de musgo. [Fotografía]. Recuperado de: www.bioguia.com

Figura 62: Boskke. (S.f). Maceteros Sky Planter Ceramic. [Fotografía]. Recuperado de: www.boskke.com

Figura 63: Boskke. (S.f). Sistema de enganche planta. [Fotografía]. Recuperado de: www.boskke.com

Figura 72: Mantegazza, E. (2018). Fridge. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/B0ADZiToKgw

Figura 74: IED Madrid Fab Lab. (2015). Taller digital. [Fotografía]. Recuperado de: fablab.iedmadrid.com/espacios-del-taller/

Figura 75: Álvarez, I. (2017). 3D printing. [Fotografía]. Recuperado de: www.unsplash.com/photos/L_N7BaNLC5Y

Figura 76: Precious Plastic. (S.f). Chair. [Fotografía]. Recuperado de: www.preciousplastic.com/solutions/products.html

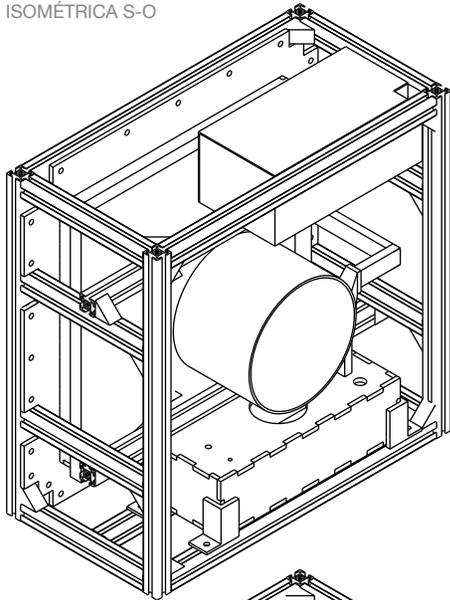
Figura 77: Precious Plastic. (S.f). Machines. [Fotografía]. Recuperado de: www.preciousplastic.com

Figura 81: Torres, M. (2020) Musgos previo a cosecha. [Fotografía]. Recuperado de: www.instagram.com/musgosphagnum

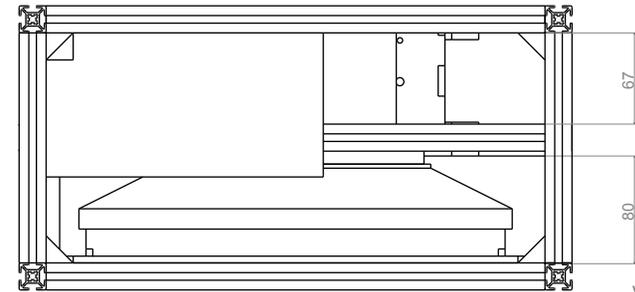
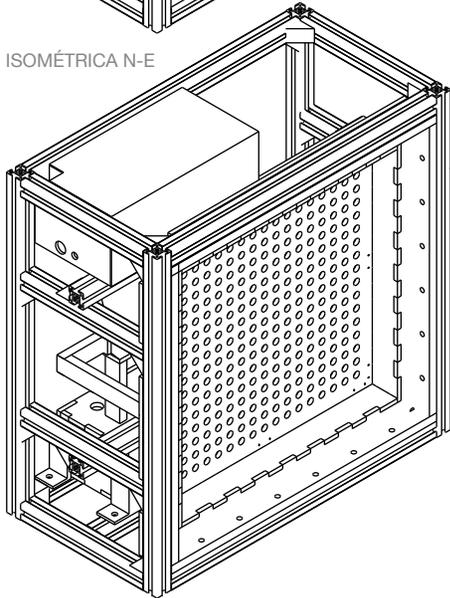
ANEXOS

12

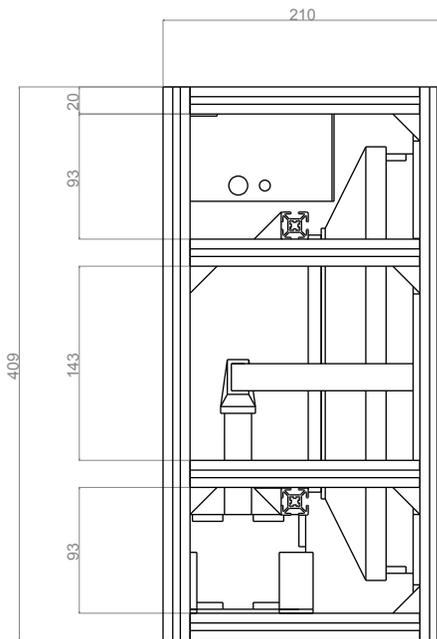
ISOMÉTRICA S-O



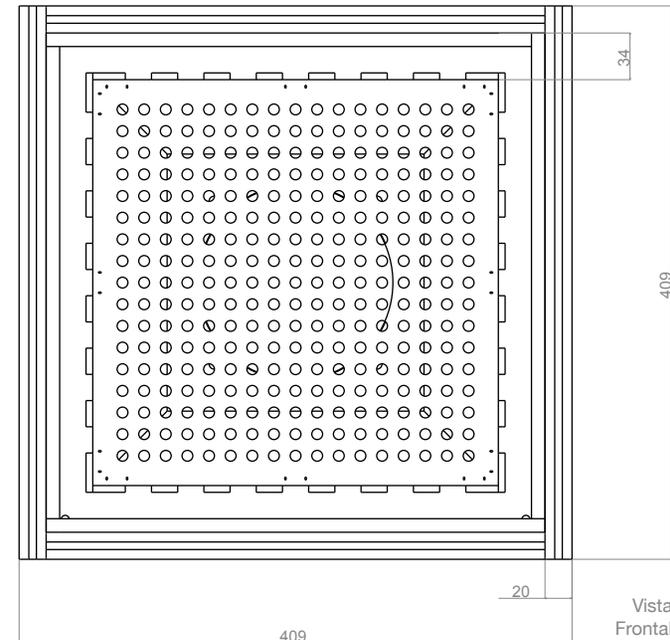
ISOMÉTRICA N-E



Vista Superior

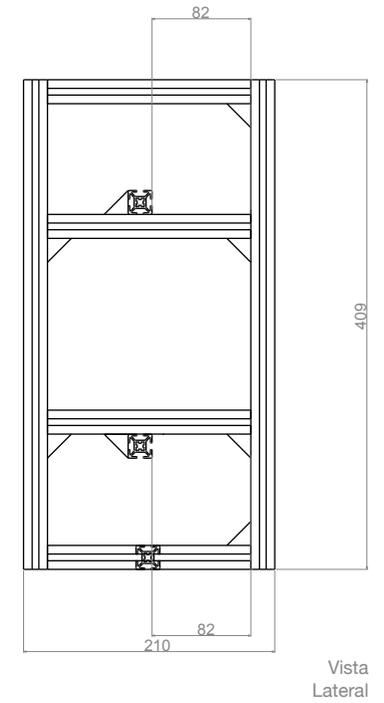
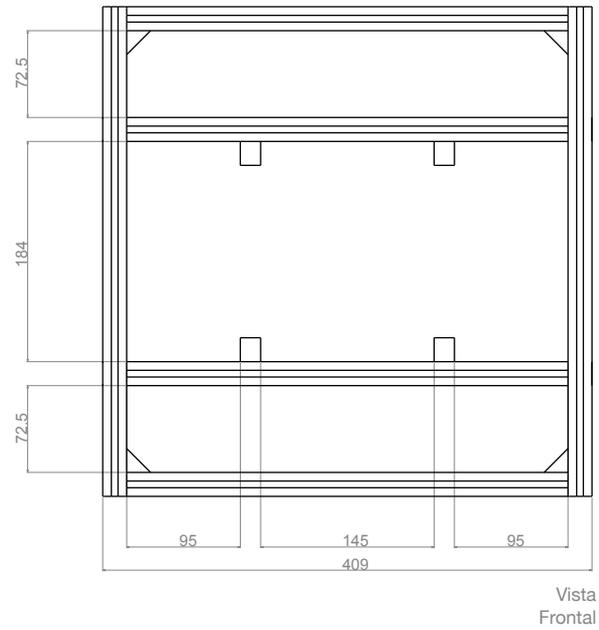
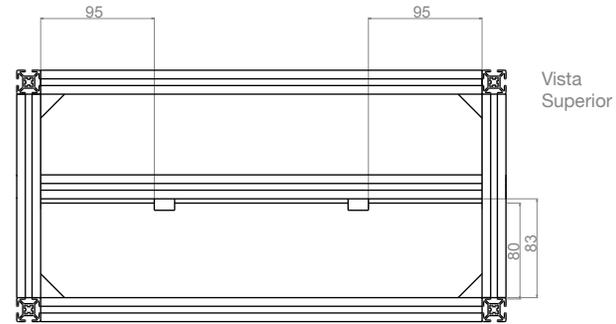
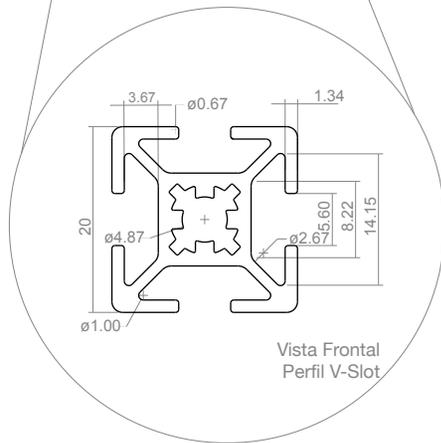
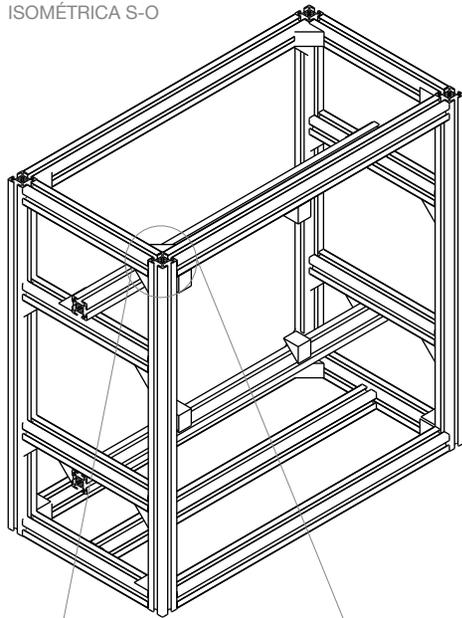


Vista Lateral

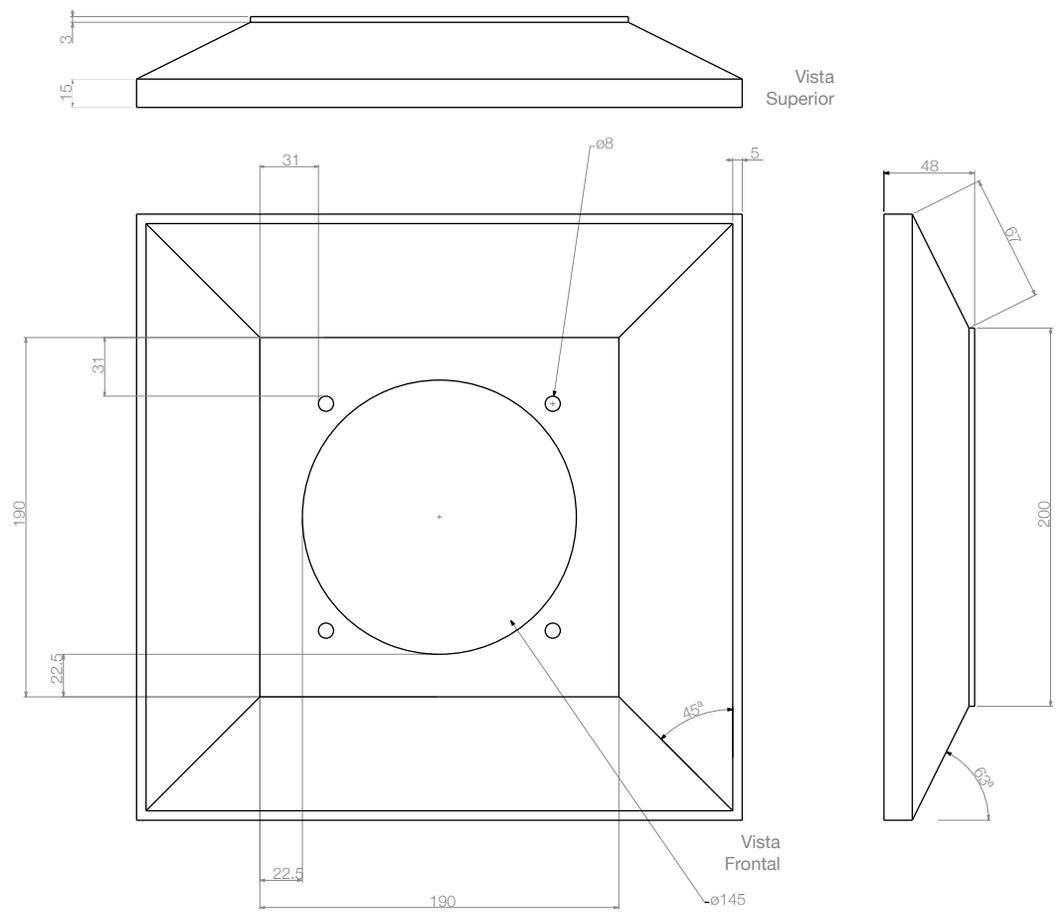
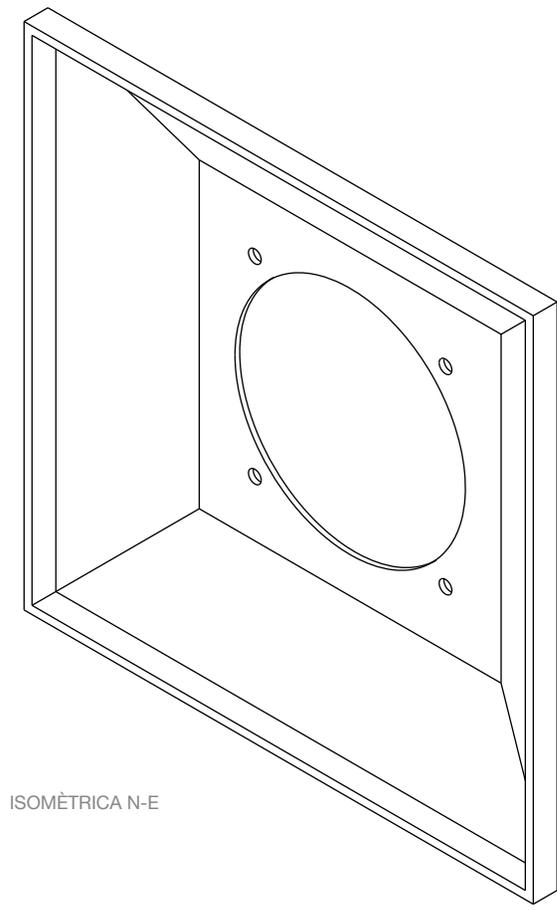


Vista Frontal

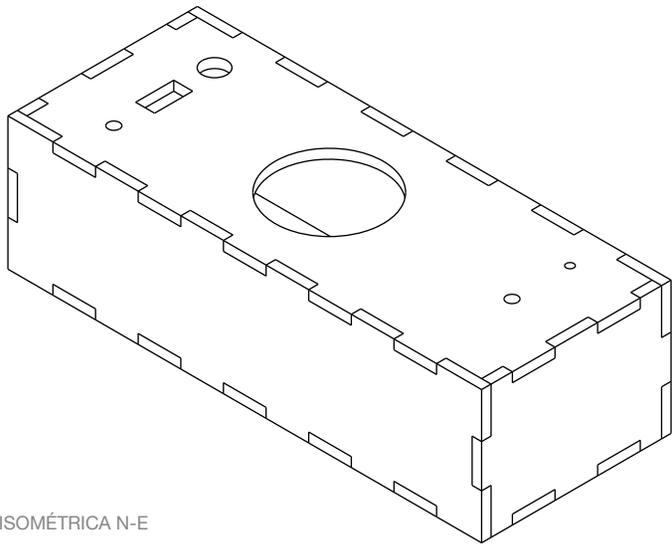
ISOMÉTRICA S-O



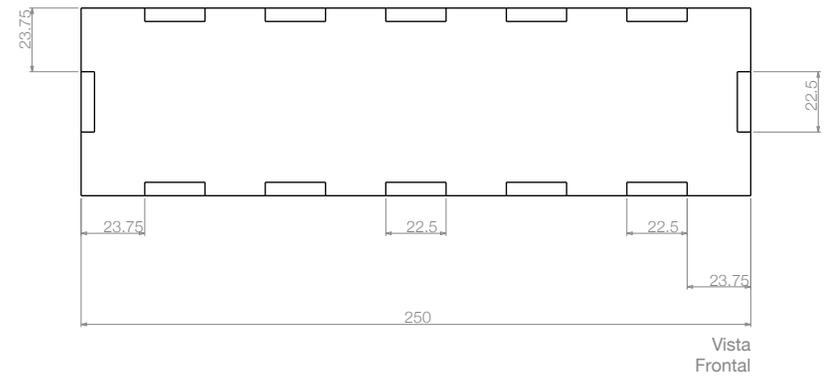
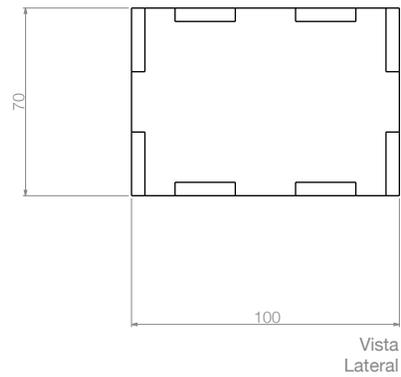
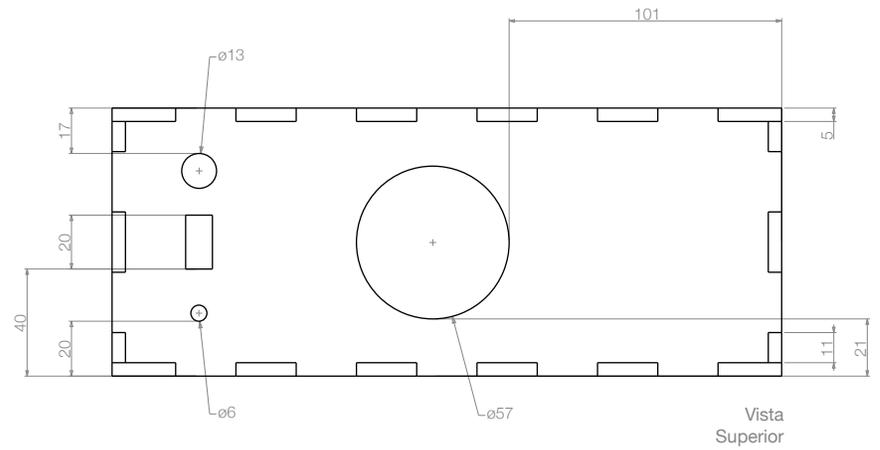
NOMBRE DEL PROYECTO: ARB1 1.0 | PROPIETARIO: Antonino Reinoso B. | DETALLE: Estructura | DIMENSIONES: Milímetros | FECHA: Octubre, 2020 | PLANO N°02



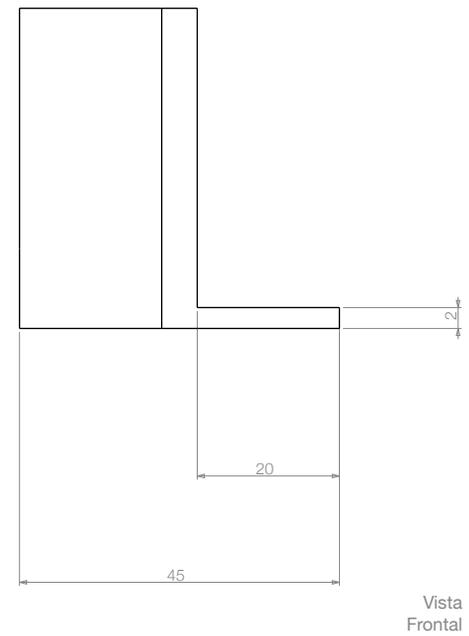
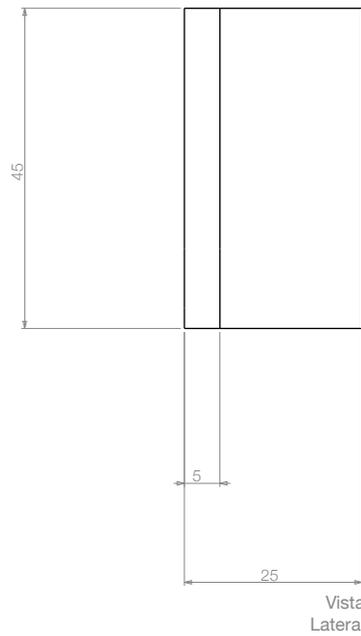
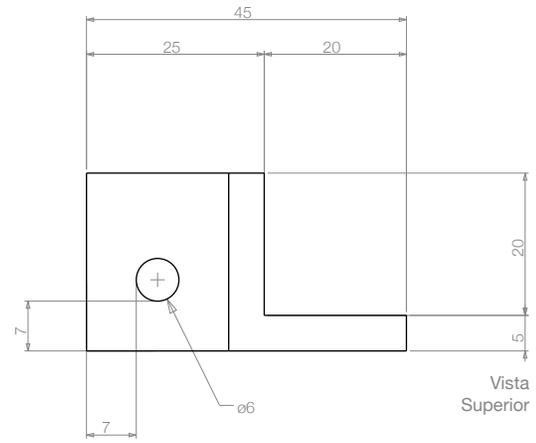
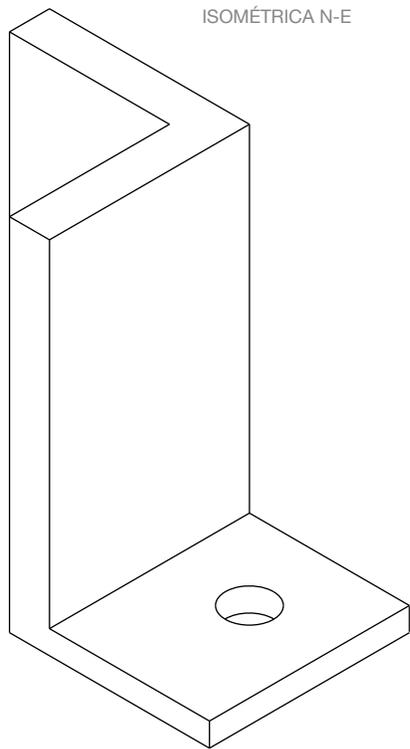
NOMBRE DEL PROYECTO: ARB1 1.0 | PROPIETARIO: Antonino Reinoso B. | DETALLE: Unión para aire | DIMENSIONES: Milímetros | FECHA: Octubre, 2020 | PLANO N°04

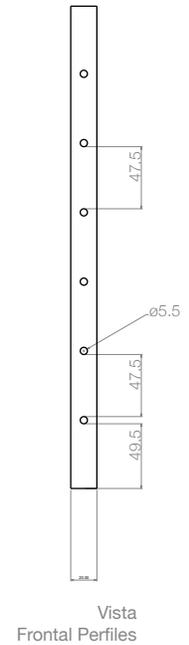
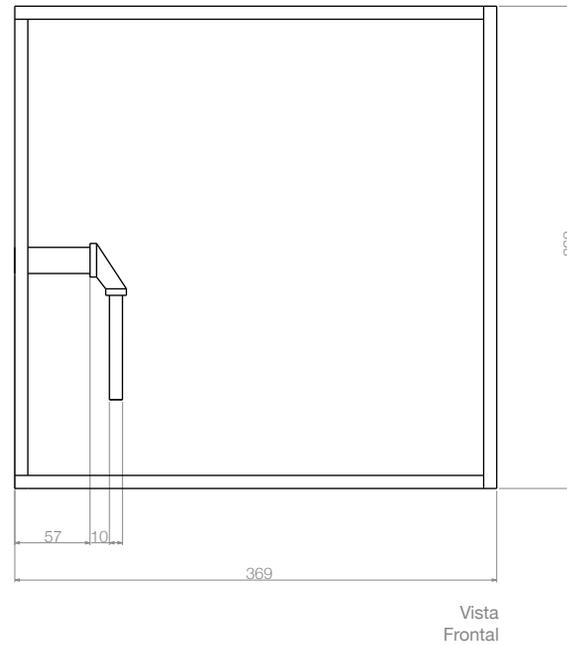
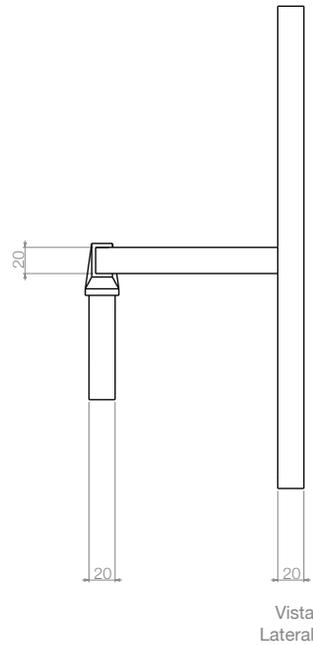
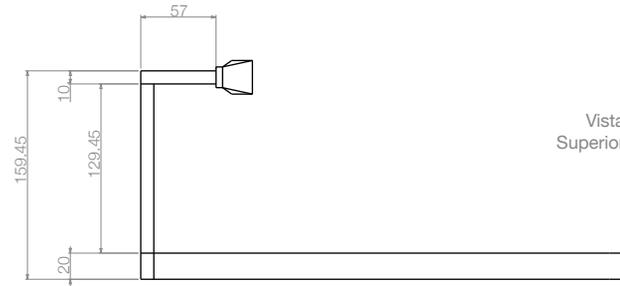
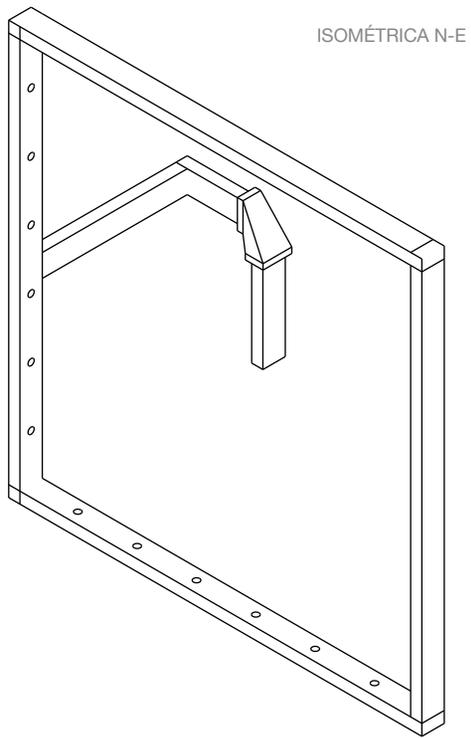


ISOMÉTRICA N-E



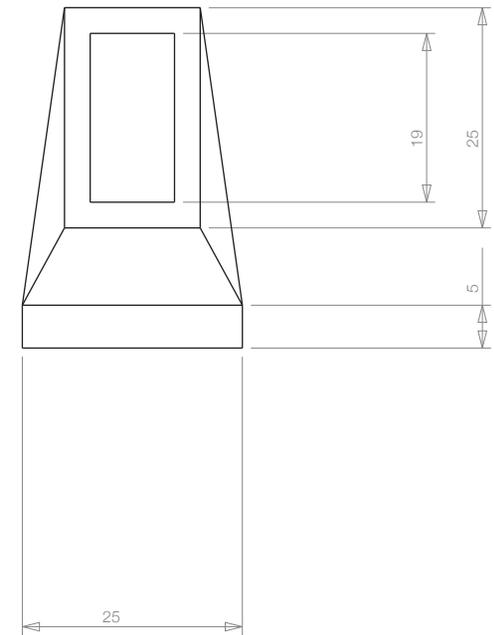
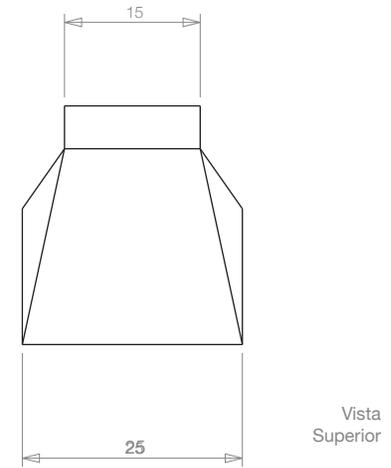
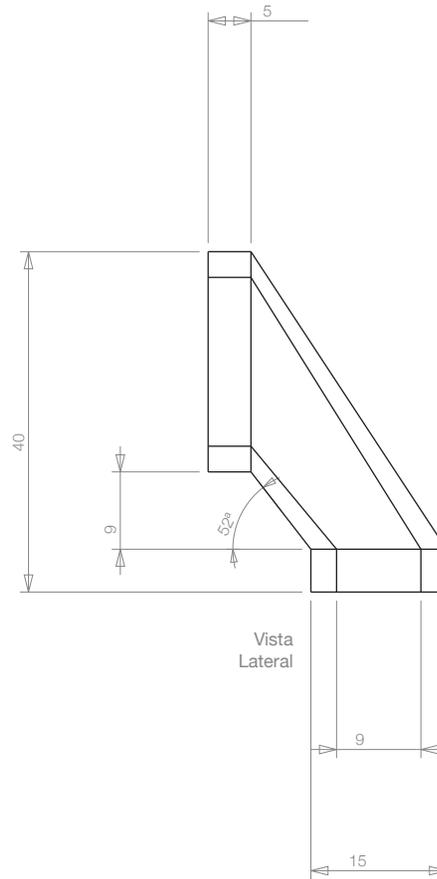
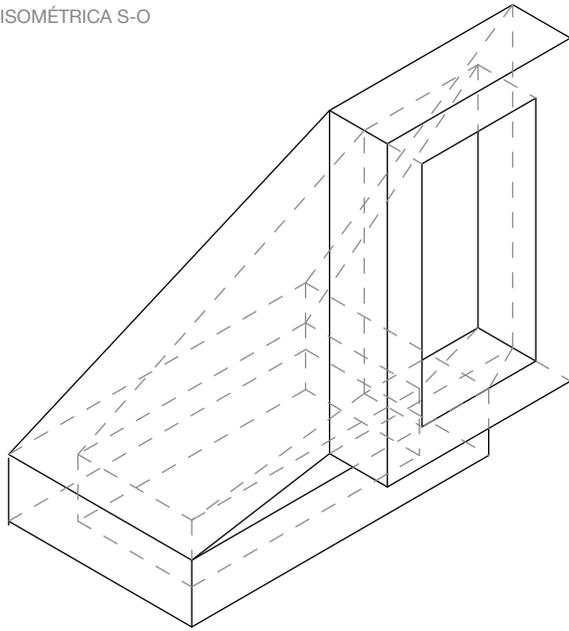
NOMBRE DEL PROYECTO: ARB1 1.0 | PROPIETARIO: Antonino Reinoso B. | DETALLE: Recipiente Productor Niebla | DIMENSIONES: Milímetros | FECHA: Octubre, 2020 | PLANO N°06

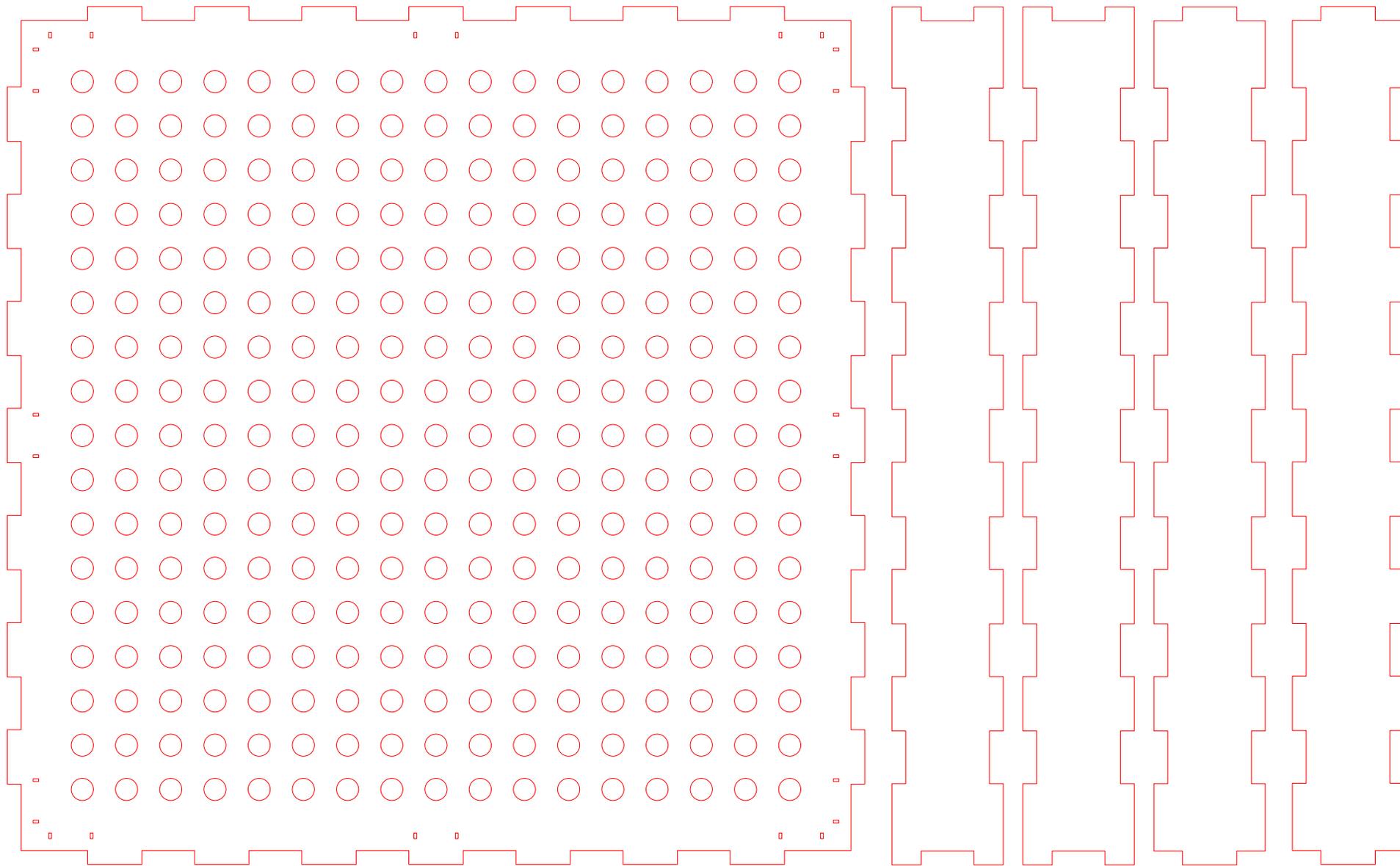




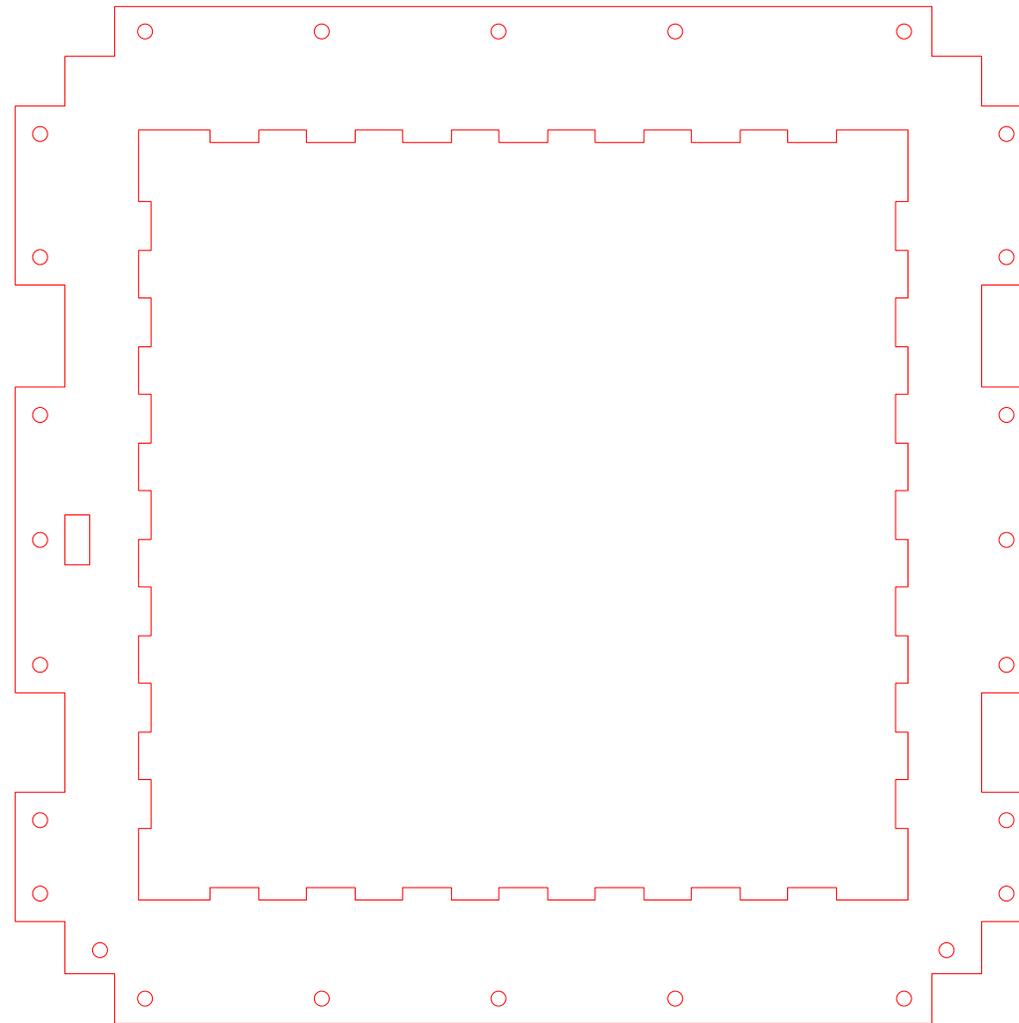
NOMBRE DEL PROYECTO: ARB1 1.0 | PROPIETARIO: Antonino Reinoso B. | DETALLE: Canaleta Distribución Riego | DIMENSIONES: Milímetros | FECHA: Octubre, 2020 | PLANO N°08

ISOMÉTRICA S-O



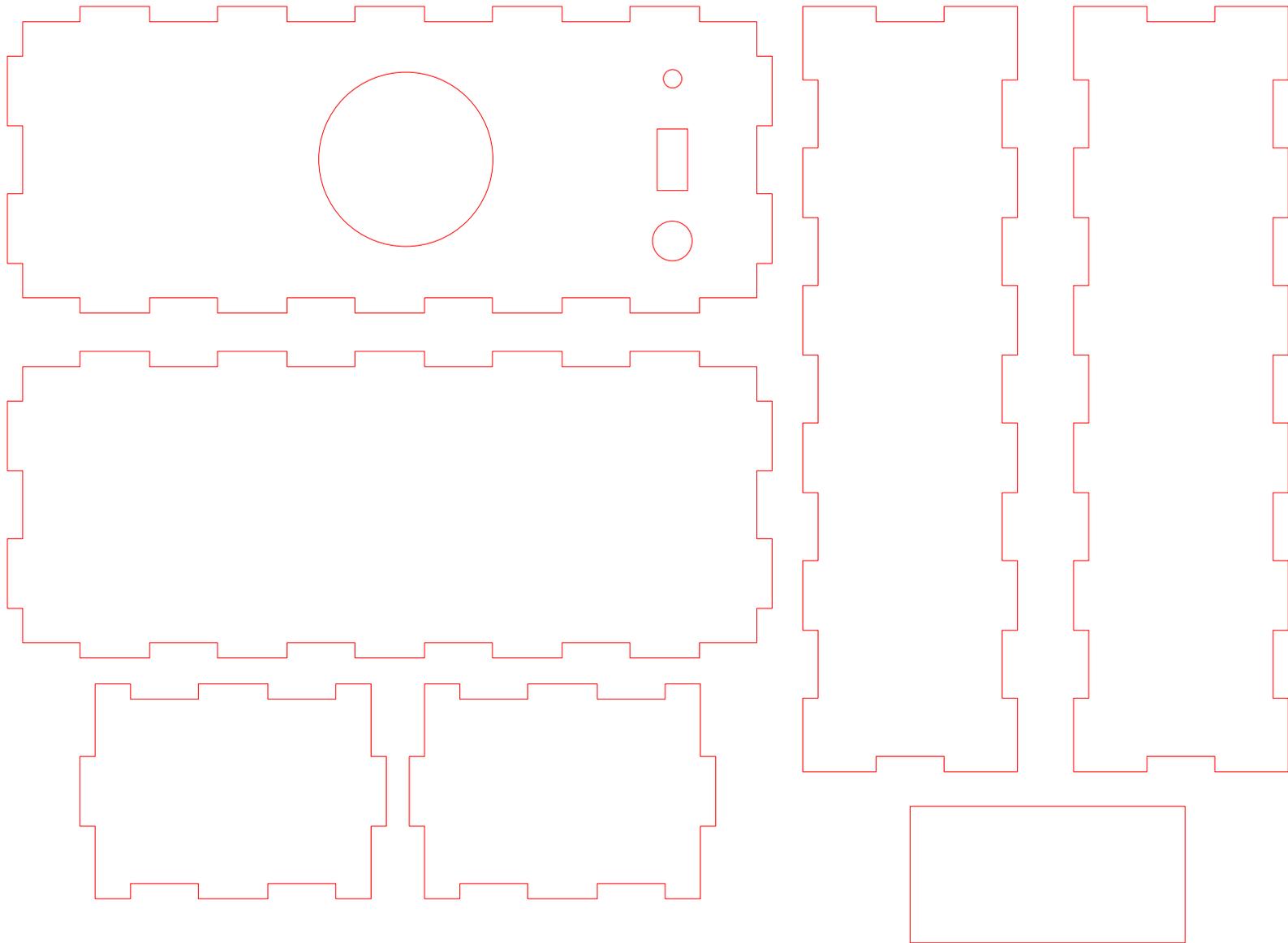


Planos corte láser para acrílico 5 mm - Escala 1:2 - Soporte musgos



Planos corte láser para acrílico 5 mm - Escala 1:3 - Marco soporte musgos

Anexo 3: Archivos de corte láser - Elaboración Propia (2020)



Planos corte láser para acrílico 5 mm - Escala 1:2 - Recipiente donde se produce niebla



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Gracias Alejandro Alfonso Durán Vargas

Su postulación "ARB: Artefacto Remediador Briofitario" al XXVII Concurso Patentar para Transferir en la UC 2020 ha sido recibida.

Recuerde enviar DOI firmada en el plazo de las bases

Para consultas se puede comunicar al e-mail transferencia@uc.cl

