

**Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa**

**Junio 2017**

Propuesta sometida en respuesta a la convocatoria 01/2017 del Laboratorio de las Ciudades en Transición (LABCIT) de la UAM-C

**Título: Sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos**

*ii. Responsable del proyecto*

**MDI Lucila Mercado Colin**

*iii. Antecedentes del equipo interdisciplinario en el tema de investigación*

**Departamento de Ciencias de la Comunicación y Diseño, UAM C**

**MDI Lucila Mercado Colin** Profesora Investigadora Titular C TC

Cursos impartidos en el Posgrado en Diseño Industrial, UNAM; Ergonomía Cognitiva, Ergonomía para interfaz y Evaluación Ergonómica. Participación como tutora en proyectos de investigación a nivel maestría: Evaluación de la respuesta emocional en la Interacción Humano Robot en situación de juego, Diseño centrado en el humano y comunicación visual en el desarrollo de sistemas interactivos informáticos. Publicaciones: Ergonomics, Environment and Sustainability. A methodology for connecting User Centered Design (UCD) with Eco-design. User-Centered Design (UCD) applied to the identification and modification of unsustainable practices.

**MDI Alejandro Rodea Chávez** Profesor Investigador Asociado D TC

Su expertise está relacionado con los procesos de diseño centrados en el usuario, así como en la gestión de proyectos y el desarrollo productivo digital, ámbitos en los que imparte UEAs dentro de la Unidad, destacándose proyectos terminales sobre temas de sustentabilidad enfocados a sistemas basados en LEDs y sistemas acuapónicos para la producción de alimentos; a nivel de proyectos de investigación, es participante del proyecto *Criterios ergonómicos para el diseño de interfaces gráficas interactivas*, y del proyecto *El desarrollo de modelos como didáctica del Diseño*. Ha participado como Tutor

y cotutor de tesis de Maestría en campos sobre robótica social, *Interacción humano robot y sus aplicaciones educativas y, Robot social, recurso para la divulgación científica.*

#### **Departamento de Procesos y Tecnología UAM C**

**Dr. Gabriel Viguera Ramírez,** Técnico Académico Titular E TC

Se especializa en análisis cromatográfico de moléculas en fase líquida y gaseosa, realiza investigación sobre el tratamiento de aire contaminado con hidrocarburos utilizando biofiltros fúngicos, así como la recuperación de biomoléculas de alto valor agregado con potencial uso biotecnológico. En el área de nuevas tecnologías ha trabajado en la implementación de sensores de gases con adquisición de datos en línea usados para monitorear bioprocesos. Es miembro del cuerpo académico consolidado de Biosistemas en Medio Ambiente y Energía. Cuenta con 7 artículos publicados en revistas indizadas en JCR, 2 capítulos de libro, 39 trabajos presentados en eventos especializados nacionales e internacionales, es miembro del registro CONACYT de evaluadores acreditados. Es profesor en cursos de nivel Licenciatura y Posgrado. Asesor en tesis de licenciatura y posgrado. Fue becario de la empresa coreana Samsung Electronics y colaborador en el área de control de calidad en la farmacéutica transnacional Lundbeck especialista en medicamentos para el sistema nervioso.

**Dra. Alicia Montserrat Alvarado González,** Profesora Investigadora Visitante Asociada D Tiempo Completo.

Su experiencia está asociada con el diseño y desarrollo de Interfaces Humano/Cerebro Computadoras para controlar robots. Ha impartido UEA dentro de la Unidad en temas relacionados con las Interfaces de Usuario y la Robótica, y actualmente dirige proyectos terminales relacionados con ambos temas.

#### **Posgrado en Diseño Industrial, UNAM**

**Mtra. Erika Cortés López,** profesor asociado "C" tiempo completo, Posgrado de Diseño Industrial UNAM. Su expertise tiene que ver con la implementación de la investigación cualitativa en el proceso de diseño, potencializando la detección de necesidades y la generación de empatía con usuarios, y facilitando procesos de comunicación y colaboración entre involucrados.

## **Resumen**

En el caso de este estudio, el objetivo es desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte a través de la visualización y mapeo de datos de niveles de concentraciones inadecuadas de gases (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y COVs) en estacionamientos subterráneos, para determinar los niveles de riesgo a la salud y tomar decisiones preventivas o correctivas basadas en datos objetivos.

Éste se orienta al diagnóstico de algunos de los indicadores de la calidad del aire mediante el censo de (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y COVs) La medición de la contaminación del aire en las áreas de trabajo crece en el interés de las empresas ya que las personas permanecen entre el 80 y el 90 por ciento de su tiempo en ambientes cerrados contaminados en mayor o menor grado, lo que puede provocar efectos en la salud de los trabajadores. Las condiciones y el medio ambiente laboral influyen en la salud de las personas de una forma directa o indirecta, dependiendo de la capacidad de adaptación y resistencia a factores de riesgo de cada individuo.

Correlacionar la calidad del aire interior considerando las fuentes de contaminación, la sintomatología y la normatividad internacional podría arrojar mayor certeza sobre las implicaciones que tienen los contaminantes en la salud de los usuarios de los estacionamientos subterráneos, permitiendo posteriores trabajos de investigación a mayor profundidad para mejorar la salud del edificio y sus ocupantes. El presente proyecto está encaminado a contribuir en esa dirección.

Conceptos clave: Contaminación en interiores, sensores, sistemas interactivos, toma de decisiones, estacionamientos subterráneos, calidad de aire, ambiente laboral, riesgos a la salud.

## **Objetivo general**

Desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en el censo de tres indicadores de calidad del aire (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y COVs) en estacionamientos subterráneos.

## ***iv. Objetivos específicos del proyecto (problemáticas a ser abordadas).***

El crecimiento de las grandes urbes alrededor del planeta, entre éstas la CDMX, tiene graves implicaciones a nivel de concentraciones de contaminantes ambientales, sea por la cada vez mayor cantidad de personas que las habitan, por la densidad de personas por unidad de área o por las diversas actividades relacionadas con los estilos de vida que las personas llevan, así, los contaminantes del aire son emitidos continuamente a la atmósfera por la actividad humana teniendo efectos de salud, en la biodiversidad a niveles regionales y globales (no tienen fronteras). En lo que respecta a la Ciudad de México (CDMX) y su Área Metropolitana, las Estadísticas de Vehículos de Motor Registrados en Circulación del INEGI reportaron que al 2012 había 9.7 millones de vehículos de motores en circulación [1]. Las Estadísticas Poblacionales del mismo instituto indican que existen poco más de 20 millones de habitantes en 2010 [2], y actualmente está catalogada dentro de las 21 megalópolis con mayor contaminación atmosférica del mundo.

Los principales contaminantes emitidos al aire en las ciudades son: partículas suspendidas, **bióxido de carbono** (CO<sub>2</sub>), **monóxido de carbono** (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y **compuestos orgánicos volátiles** (COVs). El **oxígeno** (O<sub>2</sub>) y CO<sub>2</sub> son gases de gran importancia biológica en los procesos de la fotosíntesis y respiración, ambos gases son incoloros, inodoros e insípidos. El CO<sub>2</sub> es uno de los gases de efecto invernadero y junto con el metano (CH<sub>4</sub>) provocan el calentamiento global, el CH<sub>4</sub> se produce por la descomposición de residuos orgánicos, procesos digestivos de animales, entre otros. Los SO<sub>x</sub> son producidos durante la combustión del carbón y de algunos derivados del petróleo, se asocia al transporte y a las actividades industriales. Se pueden formar dióxido (SO<sub>2</sub>) y trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>); ambos son gases incoloros, teniendo el SO<sub>2</sub> olor irritante. Los SO<sub>x</sub> producen necrosis en plantas, causan irritaciones oculares y respiratorias en animales. El principal efecto negativo viene dado por las reacciones que originan en la atmósfera, produciendo ácido sulfúrico y originando la lluvia ácida. Los NO<sub>x</sub> también son emitidos al quemar derivados del petróleo, sus principales fuentes son los automóviles y las centrales eléctricas. Se pueden formar óxido (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), siendo el NO el emitido en mayor proporción por automóviles pero que al reaccionar con el O<sub>2</sub> y por acción de la luz solar se produce el NO<sub>2</sub> el cual tiene un color rojizo. En la atmósfera, los óxidos de nitrógeno pueden contribuir a la formación de ozono (O<sub>3</sub>) fotoquímico (smog o niebla contaminante), con sus consecuencias que tienen a la salud. También contribuye al calentamiento global y puede provocar lluvia ácida. Finalmente, los COVs son gases o vapores de compuestos alifáticos, aromáticos, alcoholes, aldehídos, cetonas, se consideran los principales precursores de O<sub>3</sub>, además algunos tienen reportes de ser cancerígenos y/o mutagénicos.

Tales concentraciones de contaminantes son monitoreadas de forma puntual por diversas organizaciones tanto federales como estatales, así como organismos especializados. La correcta valoración de los niveles máximos permisibles de diversos contaminantes, tanto gaseosos como de partículas suspendidas, tiene el objetivo de, en primera instancia, notificar a la población y a las autoridades competentes de la existencia de **riesgos importantes a la salud en un determinado momento**; como consecuencia de ello, pueden adoptarse medidas tanto administrativas como tecnológicas para intentar

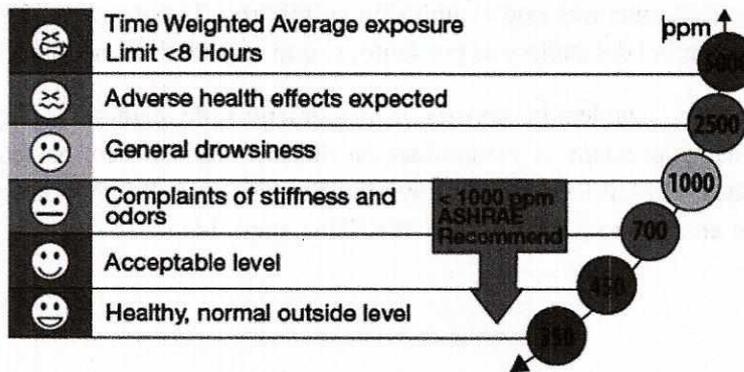
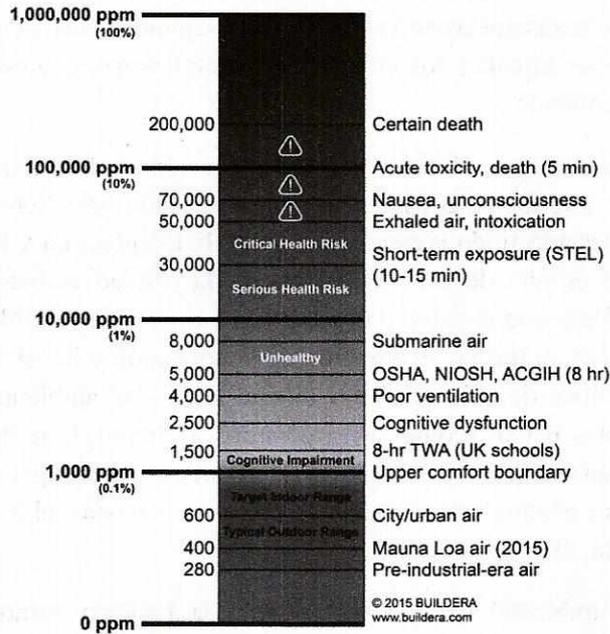
disminuir los riesgos descritos. Ejemplos de las primeras en el caso de los automotores son las restricciones en la circulación vehicular (mediante el programa Hoy no circula, practicado en tales circunstancias en la CDMX); las segundas pueden ejemplificarse con la necesidad de mantener afinados los vehículos, en condiciones que emitan un máximo de contaminantes determinado.

Un concepto clave vinculado con la contaminación es el de calidad del aire interior. La calidad del aire interior se considera aceptable cuando está libre de olores y polvo, cuando no hay demasiado ruido y cuando se tienen la temperatura y humedad adecuadas. La calidad del aire es uno de los indicadores de la calidad ambiental (siendo éste un concepto más complejo que la calidad del aire), que considera variables ajenas al edificio, como son la ubicación, el tráfico, el aumento de la población y la calidad del aire presente en el la zona geográfica de ubicación. Así mismo la calidad ambiental es alterada por la interacción de agentes físicos (como la temperatura, el viento, la radiación solar, ruidos), químicos (como sustancias y/o compuestos orgánicos e inorgánicos) y biológicos, produciendo diversos efectos y consecuencias sobre las personas, el medio físico-natural y los edificios. (Tavera, 2014, pág.108).

La calidad ambiental debe observar tanto la emisión como la inmisión en el ambiente. La emisión implica la concentración de un contaminante, que es lanzado o vertido por un foco emisor, mientras que la inmisión se refiere a la concentración de un contaminante, existente a nivel del suelo y es por tanto, el que respira el ser humano.

En México se han establecido normas y lineamientos de carácter obligatorio encaminados a controlar y prevenir la contaminación del aire atmosférico, así como la prevención de accidentes y enfermedades en el trabajo. Sin embargo no hay normas para calidad del aire interior en espacios cerrados. (Tavera, 2014, pág.114).

## Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Hazard Scale



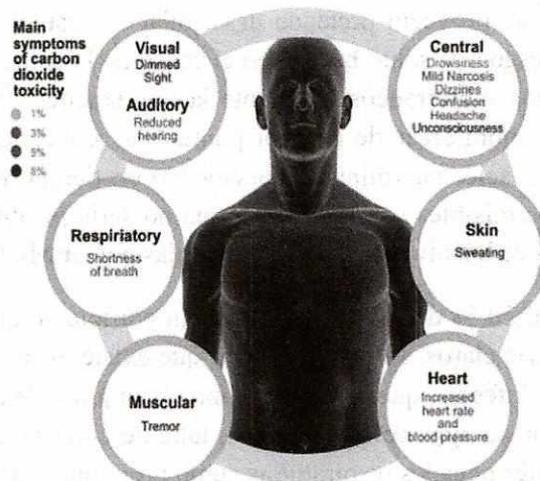
Los contaminantes químicos principales y más comunes en el aire interior son:

1) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es un producto metabólico que se utiliza a menudo como indicador del nivel general de contaminación del aire en relación con la presencia de seres humanos en el interior.

2) Monóxido de carbono (CO), ...gas de combustión inorgánica formado fundamentalmente durante la combustión de materiales orgánicos, materiales fósiles. (Garduño, 2007, pág. 3-4).

El CO<sub>2</sub> es un asfixiante simple cuya presencia a concentraciones altas provoca falta de oxígeno, por su parte el monóxido de carbono se forma por la combustión incompleta de sustancias que contienen carbono. Su presencia en medios no industriales es debida a la emisión por motores de combustión interna en estacionamientos dentro de un

edificio...tiene un efecto asfixiante al unirse a la hemoglobina de la sangre y disminuir la capacidad de aporte de oxígeno hasta los tejidos. <sup>1</sup>( (Aviléz, 2007, pág. 35).



Si bien, la identificación de las condiciones de contaminación medioambiental se dan a través de sistemas complejos de monitoreo, que tras ser analizadas de forma centralizada arrojan resultados del estado de contaminación en grandes zonas de la ciudad, ello no permite **conocer de manera más puntual, las condiciones específicas de espacios** o áreas interiores; los espacios cerrados difícilmente son evaluados en la calidad del aire interno versus el externo.

Los estacionamientos subterráneos son una de estas áreas interiores en las que existe gran posibilidad de concentración de diversos contaminantes que, aunado a la gran afluencia de personas que concurren en determinados momentos y circunstancias, representan un grave riesgo a la salud para esa población.

Nuestros casos de aplicación son **los estacionamientos subterráneos** que tienen poca o nula posibilidad de ventilación, y que por estas condiciones particulares, pudiesen ser **susceptibles de mayores concentraciones de dichos contaminantes** y en la que tal **detección oportuna** permitiría la correcta interpretación de los datos para tomar medidas preventivas o correctivas.

Actualmente la contaminación del aire en las áreas de trabajo es un tema de interés para las empresas, debido a que las actividades productivas causan modificaciones en el medio ambiente, lo cual puede provocar efectos en la salud de los trabajadores. Las condiciones y el medio ambiente de trabajo influyen sobre la salud física y mental de las personas de una forma directa o indirecta dependiendo de la capacidad de adaptación y resistencia a factores de riesgo de cada individuo. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aviléz Ortiz S, Metodología para el diagnóstico de calidad del aire interior (CAI) en recintos escolares: caso UPIICSA. Tesis de Maestría. Págs. 35 y 36.

<sup>2</sup> Ibid, pág. 107

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daño a la salud humana, lo cual depende de sus propiedades físicas y químicas, de la dosis que se inhala, del tiempo y frecuencia de exposición, y también de las características de la población expuesta. Por lo que este proyecto pretende desarrollar un sistema interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en el censo de la calidad del aire (CO<sub>2</sub>, CO y O<sub>2</sub>) en estacionamientos subterráneos. Mediante la implementación de tales sistemas, se considera será posible monitorear de manera puntual las condiciones medioambientales prevalentes en un espacio determinado, conociendo en tiempo real cuando se superen los niveles máximos permisibles (que de otra forma no sería posible conocer a través de, por ejemplo, las alertas de los niveles IMECAS emitidas por SEMARNAT).

Cuando más del 20 % de los ocupantes de un edificio se quejan de la calidad del aire o presentan síntomas claros, se puede afirmar que existe el fenómeno conocido como Síndrome del Edificio Enfermo, que se define como el conjunto de molestias (sequedad de piel y mucosas, escozor de ojos, cefalea, astenia, falta de concentración y de rendimiento laboral, entre otras), enfermedades respiratorias como bronquitis y tos seca y enfermedades que aparecen durante la permanencia en el interior del edificio afectado y desaparecen después de su abandono.

El correlacionar la calidad del aire interior considerando las fuentes de contaminación, la sintomatología y la normatividad internacional podrían arrojar mayor certeza sobre las implicaciones que tienen los contaminantes en la salud de los usuarios de los estacionamientos subterráneos, permitiendo posteriores trabajos de investigación a mayor profundidad para mejorar la salud del edificio y sus ocupantes.

La sintomatología presentada por los afectados no suele ser tan rápida y severa como en actividades industriales, ya que ésta es sutil y gradual, sin que los moradores se den cuenta de ello, teniendo en consideración que el cuerpo humano reacciona gradualmente y en ocasiones enmascara los síntomas, lo que con el tiempo se traduce en una situación cotidiana de malestar, estrés e irritabilidad, que afecta su productividad.<sup>3</sup>

Por ser un campo de reciente investigación no se ha valorado todavía con exactitud los daños que el aire interior contaminado puede generar a la salud de los ocupantes de un edificio, sólo se conoce la sintomatología presentada por ellos debido a la continua y prolongada exposición a contaminantes.

El aire interior que no es industrial muestra varias características que lo diferencian del aire exterior, o aire atmosférico, y del aire del medio ambiente industrial. Además de los contaminantes presentes en el aire atmosférico, el aire interior también contiene contaminantes generados por los materiales de construcción y por las actividades que tienen lugar en el interior del edificio.

---

<sup>3</sup> Aviléz Ortiz S, Metodología para el diagnóstico de calidad del aire interior (CAI) en recintos escolares: caso UPIICSA. Tesis de Maestría. Pág. 5.

Actualmente se acepta de forma general que los edificios que carecen de ventilación natural (presumiblemente estacionamientos subterráneos) son donde se presenta mayor riesgo de exposición a contaminantes.

***Diseño de la investigación de campo***

Como parte de las etapas del diseño del sistema, llevaremos a cabo un proceso de indagación para conocer los probables síntomas que reportan los usuarios y posteriormente para poner a prueba el sistema se diseñaran instrumentos de evaluación que arrojen datos para el cruce de información que de mayor certeza sobre la eficiencia de medición del sistema de sensado.

Para el desarrollo del sistema de sensado interactivo que alerte a través de la visualización y mapeo de datos de niveles de concentraciones inadecuadas de gases (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y COVs) en estacionamientos subterráneos, para determinar los niveles de riesgo a la salud y tomar decisiones preventivas o correctivas basadas en datos objetivos, se realizará un programa de muestreo identificando la distribución de puntos y zonas a evaluar para la calidad del aire interior. Las lecturas de nivel de concentración de gases se tomarán en ubicaciones específicas dentro del estacionamiento subterráneo buscando la representatividad de la totalidad del área interior del mismo.

**Crterios para definir ubicación\* de sensores y tiempos de monitoreo\*.**

Tipo de gas	Tiempo de monitoreo*	Valor estándar del	Tipo estándar de	Ubicación*
Monóxido de carbono				
Dióxido de carbono				
Oxigeno				
COVs				

***La perspectiva con la que se abordarán las líneas representativas del LABCIT son:***

1. Ciudad y nuevas instituciones ante el cambio climático y,
2. Ciudad y nuevas tecnologías de la información.

**1. Ciudad y nuevas instituciones ante el cambio climático.**

*El uso de la tecnología cambia los hábitos de las personas, es necesario que la sociedad participe en el desarrollo de los productos que le ayudarán a tomar decisiones informadas sobre su salud en relación a la medición de gases contaminantes.*

La información obtenida sobre los contaminantes presentes en el aire al que están expuestos los habitantes de la CDMX, servirá para concientizarlos sobre su papel en la generación de dichos contaminantes, además de servir para tomar acciones de prevención o corrección de sistemas que permitan el tratamiento a fin de mejorar la calidad del aire que respiramos. Además como se ha mencionado, los contaminantes emitidos a la atmosfera no tienen fronteras y algunos de ellos (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) tienen un impacto directo en el calentamiento global y cambio climático, el cual afecta de diversas formas a los habitantes de las grandes ciudades y las provincias.

El paradigma de desarrollo actual, en el que convergen conceptos tales como desmaterialización, sustentabilidad, sustentabilidad social, empoderamiento de la población y otros de relevante importancia, obliga a repensar la manera en que las nuevas instituciones desarrollarán estrategias para solventar los problemas para los que fueron creadas, tal es el caso de la problemática del cambio climático. Con la aparición de sistemas de producto servicio cada vez más complejos se busca transferir parte de la actividad de identificación y solución de problemas hacia la población usuaria; ello permitirá involucrar de manera activa a la población tanto en la promoción de estrategias, como en el seguimiento oportuno de la evolución de problemas medioambientales. Adicionalmente se fomentará una mayor comunicación entre la población, las autoridades y otros actores relacionados.

Como una alternativa al desafío de revertir la degradación de los ecosistemas y al mismo tiempo satisfacer la demanda de servicios, se desarrolla la perspectiva del diseño para la sustentabilidad que consiste en un conjunto de ideas que implican un cambio de perspectiva sobre la problemática medioambiental. Ésta genera satisfactores basados en productos de consumo ya no privados sino públicos, es decir, tiene la utilidad en lugar de la propiedad, esto significa un cambio en la dinámica de relación de los usuarios con los productos que ahora promueven la convivencia con servicios compartidos en vez de productos individuales.

La evaluación de uso de los productos de diseño representa un potencial enorme para conocer la problemática de las personas al usar un servicio, y tales formas de acceder a los medios deben estar basadas en las diferencias de experiencia de los usuarios, tomando en cuenta su nivel de conocimientos respecto a las necesidades y uso de los productos diseñados para monitorear aspectos sobre contaminación que dañen su salud.

Desarrollar un sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en el censo de tres indicadores de calidad del aire (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y COVs) en estacionamientos subterráneos, contribuirá en tal dirección, en las que las nuevas instituciones y autoridades identifiquen a la población usuaria y a la sociedad en su conjunto, no sólo como receptores de los productos que generan, sino como activamente participativos en el diseño, desarrollo y evaluación de los nuevos sistemas de productos servicios sustentables, ya que a través del uso de estos nuevos productos es posible definir medidas que protejan a los usuarios. La UAM por tanto, debe proveer a sus alumnos de experiencias enriquecedoras con tal enfoque. Lo anterior basado en el concepto de

sustentabilidad (cuyos cuatro pilares son: lo ambiental, social, cultural y económico) que es uno de los Ejes rectores de la Unidad y que sin embargo, ha sido abordado prioritariamente desde la perspectiva de la sustentabilidad medioambiental dejando al margen la sustentabilidad social, concepto retomado en la presente propuesta.

“La sustentabilidad social puede ser definida como el proceso de creación de lugares sostenibles y exitosos que promueven el bienestar, mediante la comprensión de lo que las personas necesitan de los lugares (y de los objetos que usan). La sustentabilidad social combina el diseño de la esfera física con el diseño del mundo social - la infraestructura de apoyo social y la vida cultural, los servicios sociales”. (Woodcraft, S. et al, 2011).

Para el concepto de sustentabilidad social son centrales las siguientes ideas: vida social y cultural. La fragmentación cultural ha hecho perder importancia a la vida social, es necesario que las comunidades culturales se reafirmen.

Dar voz a la participación de la gente en la definición de las características que deben poseer los espacios, servicios y productos diseñados para satisfacer sus necesidades.

Centrar el diseño en el usuario final, ya que no todas las comunidades son iguales y es necesario involucrar a quienes usaran el producto del resultado del diseño, garantizando procesos de diseño inclusivos.

Considerando lo anterior, es necesario mencionar que para el presente proyecto es importante la participación de los usuarios del sistema ya que además de la medición de contaminantes y la aplicación de las normas vigentes es necesario conocer la sintomatología que produce un edificio enfermo en sus usuarios.

Llevaremos a cabo un proceso de indagación a través de la aplicación de instrumentos cualitativos para conocer los probables síntomas que reportan los usuarios.

Los elementos importantes a conocer son:

- A) Datos de identificación (actividades laborales que realiza).
- B) Opinión de los encuestados a través de los instrumentos.
- C) Síntomas clínicos que manifiestan los encuestados a través de los instrumentos.

Técnicamente, definimos una buena (aceptable) Calidad del Aire Interior como aquel aire en el cual no hay contaminantes conocidos en concentraciones nocivas como lo determinan las autoridades pertinentes y al cual una mayoría substancial de los ocupantes (más del 80%) no expresan inconformidad. En palabras más sencillas es aquel aire que se perciba fresco, confortable y no cargado, ni viciado e irritante, y que el respirarlo no suponga un riesgo para la salud.

Aunque los olores dependen objetivamente de la presencia de compuestos en cantidades superiores a sus umbrales olfativos, a menudo se evalúan desde un punto de vista estrictamente subjetivo. Debe tenerse en cuenta que la percepción de un olor puede

deberse a los olores de numerosos compuestos diferentes y que la temperatura y la humedad también pueden modificar sus características.

## **2. Ciudad y nuevas tecnologías de la información**

*La amplia cantidad de datos que requieren ser recabados y analizados para evidenciar en tiempo real las condiciones medioambientales en determinados espacios requiere de una visión que abarque con mayor complejidad las problemáticas.*

Las nuevas tecnologías de la información cobran aquí primordial importancia, puesto que con éstas se deberá integrar tales datos para darles sentido y facilitarlos a los diversos actores y tomadores de decisiones para que puedan establecerse estrategias adecuadas en cada caso.

Desde ésta perspectiva, el diseño de un sistema de sensado interactivo que alerte sobre situaciones de riesgo a la salud basado en la medición de la calidad del aire en estacionamientos subterráneos aportarán herramientas de utilidad para la obtención de datos en espacios identificados durante periodos determinados proveyendo los insumos necesarios para la toma de decisiones que permita paliar condiciones medioambientales riesgosas para la salud de la población que los habite. En una escala mayor, y como perspectiva a mediano plazo, será posible caracterizar las condiciones específicas de diversas tipologías de espacios que permitan replicar las estrategias adoptadas para solventar los riesgos a la salud hacia otros espacios similares a lo largo de la Ciudad, generándose sistemas de valoración de la calidad del aire para espacios interiores que, en conjunto con los sistemas ya existentes para grandes áreas de la CDMX, darán luz a un mejor entendimiento de las características del entorno construido.

### **Participación de alumnos**

La participación de alumnos será a través de servicios sociales.

Perfil de un alumno de Ingeniería Biológica (70% de créditos, tener promedio de B), haber aprobado satisfactoriamente las UEA de Técnicas Instrumentales Modernas, Introducción a la Programación, y Laboratorios de Ciencias.

Otras habilidades requeridas: proactivo, responsable, ordenado, trabajo en equipo, iniciativa para hacer investigación bibliográfica por su cuenta.

Las principales actividades a realizar son:

- Revisión bibliográfica sobre sensores para monitorear la calidad del aire en espacios cerrados.
- Apoyar en la construcción de un prototipo basado en plataformas de código que permita monitorear en tiempo real la concentración (ppm, %) de uno o varios gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, COVs). Dicho prototipo debe mostrar las

concentraciones en la pantalla, registrar los datos en una memoria, además de permitir enviarlos vía WiFi a un dispositivo móvil.

- Realizar la calibración de sensores de gas mediante cromatografía de gases.
- Participar en las pruebas piloto de manejo e implementación de los sensores en un espacio definido.
- Apoyar en la generación de documentación general asociada al proyecto.
- Escritura de reporte final de la calibración y pruebas piloto haciendo énfasis en el análisis y discusión de resultados.

**Perfil de un alumno de Ingeniería en Computación** (70% de créditos, tener promedio de B), haber aprobado satisfactoriamente las UEA Proyecto de Ingeniería de Software III, Programación Estructurada, Programación Orientada a Objetos e Interfaces de Usuario.

Otras habilidades requeridas: Proactivo, responsable, ordenado, trabajo en equipo, iniciativa para hacer investigación bibliográfica por su cuenta.

Preferentemente: Programación con Ardudroid.

Las principales actividades a realizar son:

- Participar en el diseño y la construcción de varios prototipos que permitan monitorear en tiempo real la concentración de varios gases (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, COVs).
- Participar en el diseño y desarrollo de interfaces para controlar los prototipos desde teléfonos móviles (Android y iOS). Los prototipos deberán enviar correos electrónicos y notificaciones de Facebook y Twitter con la información del monitoreo del aire. Adicionalmente, deberán almacenar la información recolectada para su posterior análisis.
- Participar en las pruebas e implementación de los prototipos en un espacio definido.
- Apoyar en la generación de la documentación asociada al proyecto.

**Perfil de un alumno de Diseño** (70% de créditos, tener promedio de B o superior), haber aprobado satisfactoriamente las UEA de programación estructurada, laboratorio integral de sistemas interactivos, Taller de ergonomía física y cognitiva, Taller de procesos y tecnologías para el manejo de sistemas de manufactura asistidos por computadora.

Otras habilidades requeridas: proactivo, responsable, ordenado, trabajo en equipo, iniciativa para hacer investigación bibliográfica por su cuenta.

Las principales actividades a realizar son:

- Revisar bibliografía sobre diseño de experiencia, interacción e interfaz, mediante diversos medios (audiovisual), tanto en tiempo real como asincrónico.

- Apoyar en la construcción de modelos funcionales y prototipos (impresión 3D, mdf, y otros materiales).
- Apoyo en el diseño de interacción.
- Participar en las pruebas piloto de manejo e implementación de los sensores en un espacio definido.
- Participación en el diseño y aplicación de materiales para la indagación con usuarios de los espacios estudiados.
- Participación en el diseño y aplicación de materiales para la evaluación con usuarios de los espacios estudiados.
- Apoyar en la generación de documentación general asociada al proyecto.
- Escritura de reporte final del proceso de desarrollo de prototipos y materiales para la indagación y evaluación, haciendo énfasis en el análisis y discusión de resultados.

**Perfil de un alumno de Tecnologías de la información** (70% de créditos, tener promedio de B o superior), haber aprobado satisfactoriamente las UEA de Programación estructurada, análisis y diseño de algoritmos, bases de datos, Interacción humano-computadora, computación inalámbrica y móvil.

Otras habilidades requeridas: proactivo, responsable, ordenado, trabajo en equipo, iniciativa para hacer investigación bibliográfica por su cuenta.

Las principales actividades a realizar son:

- Revisar bibliografía sobre programación e interacción, mediante diversos medios (audiovisual), tanto en tiempo real como asincrónico.
- Apoyo en el diseño y programación de interacción con microcontroladores.
- Apoyar en la generación de bases de datos
- Participar en las pruebas piloto de manejo e implementación de los sensores en un espacio definido.
- Apoyar en la generación de documentación general asociada al proyecto.
- Escritura de reporte final del proceso de desarrollo de las bases de datos, haciendo énfasis en el análisis y discusión de resultados.

#### **v. Relevancia y pertinencia**

La Encuesta Nacional sobre Medio ambiente (2015) muestra que el 18% de los mexicanos no consideramos los problemas del ambiente entre los tres principales problemas del país; éste ocupa el séptimo lugar, por arriba del crimen organizado y debajo de la corrupción. Otro aspecto relevante respecto a la valoración del medio ambiente, muestra que la percepción que la gente tiene de la situación del Medio ambiente en México, el que el 48.6 % de los encuestados la valoró entre mala y muy mala.

El desarrollo sustentable considera indicadores de calidad del medio ambiente, entre los que destaca la calidad del aire.

Entre las certificaciones vinculadas con la medición de la calidad de aire interior encontramos las certificaciones Leed que cubren varias áreas:

- Desarrollo y sostenibilidad
- Ahorro de agua
- Eficiencia energética
- Selección de materiales
- Calidad del ambiente interior

Una certificación LEED está basada en la compilación de varias normas establecidas por diferentes organismos para la industria de la construcción, siempre exigiendo el nivel óptimo o superior al mínimo requerido por éstas.

#### ***vi. Implementación y utilidad de los resultados***

Los sistemas que se proponen realizar con este proyecto de investigación tendrán características de reproducibilidad tales que puedan implementarse de manera permanente en dichos espacios acotados; de igual forma se desarrollarán elementos portátiles (wearables) para que diversos usuarios de dichos espacios puedan acceder a la información de manera individualizada. En ambos casos, la información que emane de estos sistemas facilitará la toma de decisiones a nivel individual como institucional para realizar acciones que minimicen el riesgo de salud que ello representa para la población.

El desarrollo de los sistemas para el sensado de calidad del aire en espacios acotados, incluirá el análisis y desarrollo de las condiciones y materiales necesarios para facilitar la asimilación de dichas tecnologías por parte de los actores involucrados (primordialmente los usuarios de dichos espacios confinados), de tal suerte que sean activos tanto para monitorear, como para realizar acciones pertinentes (por ejemplo modificaciones en sus estilos de vida, o para notificar a las autoridades o tomadores de decisiones de tales espacios acotados para que realicen lo pertinente.

En cuanto a los índices de contaminación atmosférica que se pretenden censar, se partirá de los identificados como de riesgo para la salud humana (y que son sensados por los índices IMECA): Partículas sólidas en suspensión; Dióxido de azufre; (SO<sub>2</sub>) Ozono. (O<sub>3</sub>), Monóxido de carbono. (CO), Óxidos de nitrógeno. (NO<sub>x</sub>). De manera paralela a los contaminantes en forma de partículas suspendidas y de gases, en tales espacios confinados serán sensados los niveles de ruido, dado que éste, el ruido, es uno de los contaminantes ambientales menos atendidos, pero que tiene graves repercusiones fisiológicas y de desempeño en las personas; más aún, en los espacios confinados es difícil paliar de manera adecuada condiciones de ruido excesivo, si no es a través de acciones puntuales tanto de

corte tecnológico como administrativo y, en casos a través del uso de equipo de protección personal.

**vii. Calendario para el desarrollo de la investigación e implementación correspondiente**

**viii. Presupuesto solicitado**

**ix. Cronograma para las ministraciones presupuestales**

## CRONOGRAMA

	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Primera etapa</b>												
Determinar el nivel de conocimiento sobre sensores, contaminación del aire y sistemas de censado en la población estudiantil becaria	*											
Definición del proceso de desarrollo de sistemas interactivos												
Diseño de cuestionarios e instrumentos para identificar opiniones de usuarios		**										
<b>Segunda etapa</b>												
Definición de objetivo, requerimientos de uso (ambiental, humano o control de dispositivos), desarrollo de propuestas, evaluación heurística.												
Definir requerimientos de algoritmos de programación, sensores, actuadores, resistencias, conexiones, circuitos, materiales y equipos requeridos para la producción digital.												
Diseño de interacciones e interfaces												
Desarrollo de prototipos rápidos de productos interactivos en diversas técnicas y sustratos			***									
<b>Tercera etapa</b>												
Desarrollo de productos interactivos para medir calidad del aire en espacios interiores				****								
Desarrollo de guías explicativas del funcionamiento y objetivo de aplicación							****	*				
Documentación del proceso de desarrollo y configuración de funcionamiento												
Diagramas de sistemas del producto interactivo												
Archivos de código abierto necesarios para el control de los dispositivos, e indicaciones para la manipulación de los mismos.												
Archivos CAD y/o STL de los componentes físicos (para la reproducción digital)												
Evaluación de uso, funcionalidad y reproducibilidad									****	**		
preparación de paquetes tecnológicos para su posible transferencia y reporte final del proyecto												

<b>Ministración de fondos</b>				
Primera etapa (1er y 2do mes)	8.400,00 MXN		1er mes	*
	5.000,00 MXN		2do mes	**
Segunda Etapa (2do a 5to mes)	51.400,00 MXN		3er mes	***
Tercera etapa (4to a 12vo mes)	18.400,00 MXN		4to mes	****
	8.400,00 MXN		7mo mes	*****
	8.400,00 MXN		10mo mes	*****
<b>Monto total del proyecto</b>	<b>100.000,00 MXN</b>			

Partidas presupuestales				
cantidad	SENSORES Y ELECTRONICA	Precio unitario		subtotal MXN
		USD	MXN	
1	arduino uno REV3	NA	396,55 MXN	396,55 MXN
1	arduino micro	NA	482,76 MXN	482,76 MXN
2	Sheeld+IOS/Android phone bluetooth for arduino	NA	1.706,90 MXN	3.413,80 MXN
2	Grove Air Quiality sensor V1.3	NA	482,76 MXN	965,52 MXN
2	k33 ICB 10% CO2 dev kit	299	5.980,00 MXN	11.960,00 MXN
2	UV Flux 25% Oxygen Sensor Module	239	4.780,00 MXN	9.560,00 MXN
2	UV Flux sensor tube cap adapter	79	1.580,00 MXN	3.160,00 MXN
1	Shipping FedEx Intl Econ (envío de los productos K-33, UVFlux25% y Uvflux sensor tube, compra a CO2meter)	46	920,00 MXN	920,00 MXN
1	Intl Wire Transfer fee (compra a Co2meter)	25	500,00 MXN	500,00 MXN
2	10,000ppm MH-Z16 NDIR CO2 Sensor with I2C/UART 5V/3.3V Interface for Arduino/Raspeberry Pi	67,95	1.359,00 MXN	2.718,00 MXN
1	shipping to Mexico (envío del artículo 10.000 ppm MH-Z16. compra a sandboxelectronics)	25	500,00 MXN	500,00 MXN
2	tornillería	NA	300,00 MXN	600,00 MXN
1	Filamento PLA para impresora 3D	NA	344,83 MXN	344,83 MXN
1	Filamento ABS para impresora 3D	NA	344,83 MXN	344,83 MXN
1	Acrílico 3mm	NA	1.339,00 MXN	1.339,00 MXN
1	mdf 5.5mm	NA	235,00 MXN	235,00 MXN
2	Winplus cargador de batería para auto y dispositivos eléctricos (item 750766)	NA	1.033,63 MXN	2.067,26 MXN
2	sandisk, memoria ultra micro SDHCn64gb (item 1060601)	NA	602,59 MXN	1.205,18 MXN
1	papelería	NA	2.000,00 MXN	2.000,00 MXN
1	DISCO DE SIERRA Mod. 546	NA	191,00 MXN	191,00 MXN
1	MULTI- VISE PRENSA DE TRABAJO	NA	1.513,00 MXN	1.513,00 MXN
1	HOJA DE 1-1/8 DE PULGADA PARA CORTAR MADERA Y METAL MM462	NA	195,00 MXN	195,00 MXN
1	MINI SIERRA MODELO 670	NA	976,00 MXN	976,00 MXN
1	resistencia eléctrica	NA	1.000,00 MXN	1.000,00 MXN
2	celular LG K4 X230H (para comunicacion con arduino)	NA	2.998,99 MXN	5.997,98 MXN
Precios en USD al tipo de cambio 20:1			suma en MXN	52.585,71 MXN
IVA				8.413,71 MXN
TOTAL C/IVA				60.999,42 MXN
Ministración Mes 2				
BECAS (4 alumnos; 40 meses*\$700.00)			28.000,00 MXN	28.000,00 MXN
Ministración (mensual \$2,800.00)				
OTROS INSUMOS				11.000,58 MXN
ministración mes 1 \$4000.00; mes 2 \$4000.00, mes 3 \$3000,58				
Gran total				100.000,00 MXN

## ***Entregables***

La propuesta consiste en construir al menos un prototipo que permita monitorear en tiempo real la concentración (ppm, %) de (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, y COVs). Dicho prototipo debe mostrar las concentraciones en la pantalla, registrar los datos en una memoria, además de permitir enviarlos vía WiFi a un dispositivo móvil.

El funcionamiento general del prototipo, a nivel de interfaz de usuario, será presentado de manera gráfica en formato tipo manual e infografías, proveyendo así elementos importantes para la asimilación de tales tecnologías por parte de los usuarios finales. Estos materiales se utilizarán así también para organizar sesiones piloto con grupos de usuarios que permita validar la funcionalidad de los mismos.

Los dispositivos tendrán las siguientes características:

Permitir el almacenamiento de bases de datos que muestren la evolución de los datos en el tiempo.

Trabajo con código, programando escalas de valores de datos aceptables para realizar la acción de retroalimentación al usuario.

Modelado CAD y de impresión 3D de componentes principales y periféricos con indicaciones de temperaturas y materiales sugeridos, así como tiempos estimados de impresión (en su caso) por pieza y gramaje de material utilizado.

## ***Resultados esperados***

1. Desarrollar un producto (sistema de monitoreo) que permita a la población usuario conocer de forma adecuada las condiciones de calidad del aire en su entorno próximo.
2. Fortalecer un espacio para el trabajo interdisciplinario que les permita a los profesionales del sector educativo y de innovación de la UAM-Cuajimalpa desarrollar productos interactivos enfocados a la ciencia y tecnología, así como a interesados en el arte y el diseño, teniendo impacto directo en la población de la CDMX. Se considera desarrollar productos que tendrán impactos en áreas tales como: tecnologías de información, diseño fabricación digital, plataformas de código abierto, programación, sistemas biológicos y ambientales, entre otras.
3. Desarrollar materiales educativos de apoyo didáctico entre los que se encuentran guías, presentaciones y videos, enfocados a desarrollar y/o ampliar los conocimientos en áreas del conocimiento general como Física, Matemáticas, Química, Biología, Biotecnología, Programación, Ambientales, Artes y Lectura, entre muchas otras.

4. Diseñar e impartir talleres didácticos a bajo costo enfocados a la formación de recursos y el desarrollo de habilidades prácticas relacionadas con tecnología de herramientas 3D, biotecnología, bioprocesos, programación y diseño.

#### ***Vinculación con los sectores público, privado y social***

El desarrollo del proyecto permitirá realizar acciones de acercamiento con centros comerciales, culturales y espacios públicos con estacionamientos de características similares a las establecidas con este proyecto, de tal suerte que se socialice su aplicación. Los sistemas interactivos desarrollados podrían ser fabricados de manera distribuida en escuelas de educación media a superior así como con Laboratorios de Fabricación Digital de la CDMX. Se buscará establecer vínculos y colaboración con LAYKANIC'S, empresa basada en tecnologías de código abierto, kits impresos en 3D y educación, enfocados a desarrollar habilidades en electrónica y mecánica, para promover desarrollos similares a la temática abordada en este proyecto.

#### ***Fuentes de consulta***

INEGI, Vehículos de motor registrados en circulación 2012, [http://www.inegi.org.mx/est/lista\\_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=8](http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=8), 22 de junio 2015.

INEGI, Población 2010, <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cezm11/estatal/default.htm>, 22 de junio 2015.

Arrizabalaga, J. H., Simmons, A. D., & Nollert, M. U. (2017). Fabrication of an Economical Arduino-Based Uniaxial Tensile Tester.

Bahnfleth, Bill, Letters, in ASHRAE journal, Junio 2017. Págs. 12-13

Curedale, R. (2012) Design Methods 1 y 2, 200 ways to apply Design Thinking. ed. The design community college,

Deepa Prahalad & Ravi Sawhney (2010) Predictable Magic: Unleash the Power of Design Strategy to Transform Your Business ISBN-10: 0137023480

Dignon, J. (1992). NOx and SOx emissions from fossil fuels: A global distribution. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 26(6), 1157-1163.

Estándar NADCA ACR 2013. National Air Duct Cleaners Association (NADCA) Mt.Laurel, NJ, 2013

Estándar ANSI/ACCA 6 QR-2015 Restoring the Cleanliness of HVAC Systems. Air Conditioning Contractors of America, Arlington VA, 2015

Estándar ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 180-2008 Standard Practice for Inspection and Maintenance of Commercial Building HVAC Systems. ASHRAE and ACCA, 2012. ISSN 1041-2336

García C. (2007) La investigación tecnológica. Investigar, idear e innovar en ingenierías y ciencias sociales. México LIMUSA.

- Godish, T., Davis, W. T., & Fu, J. S. (2014). Air quality. CRC Press.
- Hernández, D. B., Mishra, R. K., Muñoz, R., & Marty, J. L. (2017). Low cost optical device for detection of fluorescence from Ochratoxin A using a CMOS sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 246, 606-614.
- Ithnin, M. H., Arris, F. A., Salim, W., & Amani, W. W. (2016). Portable Arduino® platform for electrochemical sensors.
- Lambertsen, Christian J. (1971). "Carbon Dioxide Tolerance and Toxicity". Environmental Biomedical Stress Data Center, Institute for Environmental Medicine, University of Pennsylvania Medical Center. Philadelphia, PA. IFEM Report No. 2-71. Retrieved 2008-06-10.
- Laurie Young. (2008) From Products to Services: Insights and experience from companies that have embraced the service economy Wiley ISBN 978-0470026687
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367-371.
- Leson, G., & Winer, A. M. (1991). Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(8), 1045-1054.
- Londoño García, Julio César. Un edificio verde es un edificio inteligente. en *Revista Producción + Limpia Enero-Junio de 2009. Vol.4, No.1, pags 61-74*
- Milford, J. B., Russell, A. G., & McRae, G. J. (1989). A new approach to photochemical pollution control: Implications of spatial patterns in pollutant responses to reductions in nitrogen oxides and reactive organic gas emissions. *Environmental Science & Technology*, 23(10), 1290-1301.
- Preddy, L. B. (2013). *School Library Makerspaces: Grades 6-12*. ABC-CLIO.
- Premeaux, E., Evans, B., & Turner, M. (2011). *Arduino Projects to Save the World*. Apress.
- Saptono, D., Wahyudi, B., & Irawan, B. (2016). Design of EEG Signal Acquisition System Using Arduino MEGA1280 and EEGAnalyzer. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 75, p. 04003). EDP Sciences.
- Sharon Poggenpohl & Keiichi Sato (2009) *Design Integrations: Research and Collaboration* ISBN: 978-1-84150-240-3
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, 32(1), 54-64.
- Zhu, W., Ma, X., Gou, M., Mei, D., Zhang, K., & Chen, S. (2016). 3D printing of functional biomaterials for tissue engineering. *Current opinion in biotechnology*, 40, 103-112.