



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis sustentable de dos fuentes  
de energía alternativa para su uso en  
el Centro de Diseño Mecánico de la  
Facultad de Ingeniería de la UNAM**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera Mecatrónica**

**P R E S E N T A**

Sofía Ivonne Justo Sánchez

**DIRECTORA DE TESIS**

Dra. Flor Hernández Padilla



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**

*Dedicada a:*

*Mis padres Georgina y Pedro por siempre apoyarme incondicionalmente.*

*Mis hermanos Gerardo, Leticia y Cristina por estar siempre para mí y ser mis guías.*

*A mis sobrinas Camila, Kiara y Melissa por llenarme de alegría.*

*A mis tías y tíos por estar presentes en mi vida.*

*A mis primas y primos por su apoyo.*

*A mis amigas Fabiola, Hortencia, Diana, Ana V., Ana T. y demás amigos por su amistad.*

#### *Agradecimientos*

*Gracias a mi familia por su amor y apoyo.*

*Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por la formación profesional brindada.*

*Gracias a la Doctora Flor Hernández Padilla por su apoyo, tiempo y confianza durante la realización de este trabajo.*

*Gracias a los sinodales: Maestra Erika Leyra, Doctor Edmundo Rocha, Doctor Vicente Borja y Maestro Javier Ávila, por su tiempo y comentarios oportunos a este trabajo.*

*Gracias a México por todo.*

## Contenido

Resumen .....	1
Introducción .....	2
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
1. Marco teórico .....	4
1.1 Tipos de energía renovable .....	4
1.2 Metas para la sustitución de fuentes fósiles, compromiso mundial .....	7
1.3 Uso de energías renovables en universidades del mundo .....	9
1.4 Energías renovables en México, situación actual .....	10
1.5 Uso de Energía renovable en la UNAM .....	11
1.6 Análisis de Ciclo de Vida .....	12
1.6.1 Concepto .....	12
1.6.2 Bases de datos y métodos .....	13
1.6.3 Software .....	14
1.7 Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la selección de fuentes alternativas de energía .....	15
2. Planteamiento del problema .....	17
3. Justificación .....	17
4. Metodología .....	18
4.1 Definición de escenario .....	18
4.2 Metodología para el consumo energético del CDM .....	19
4.3 Límites del sistema .....	21
4.4 Límites temporales y geográficos .....	23
4.5 Límites tecnológicos .....	23
4.6 Metodología para el Análisis de Ciclo de Vida del consumo de energía convencional .....	24
5. Análisis de consumo energético de los equipos del CDM .....	25
5.1 Layout del CDM .....	25
6. Requerimientos de instalación y mantenimiento de paneles fotovoltaicos .....	35
6.1 Tipos de celda fotovoltaica .....	35
6.2 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos .....	39
6.3 Proveedores y costos .....	39

6.4 Comparativo entre distintas configuraciones de paneles fotovoltaicos .....	40
6.5 Layout de instalación de paneles .....	41
6.6 Diagrama de bloques de panel fotovoltaico propuesto .....	42
6.7 Inventario de Ciclo de Vida de panel fotovoltaico propuesto .....	43
7. Requerimientos de instalación y mantenimiento de aerogeneradores .....	45
7.1 Tipos de aerogeneradores .....	45
7.2 Posición de aerogeneradores .....	46
7.3 Proveedores y costos en México .....	48
7.4 Comparación entre distintas configuraciones de aerogeneradores .....	49
7.5 Layout de instalación de aerogeneradores .....	50
7.6 Diagrama de bloques de sistema de aerogeneradores propuesto .....	51
7.7 Inventario de ciclo de Vida del sistema de aerogeneradores propuesto .....	51
8. Análisis de ciclo de vida comparativo, situación actual, panel solar y aerogenerador seleccionado .....	53
8.1 Objetivo de ACV .....	53
8.2 Alcances .....	53
8.3 Unidad Funcional .....	53
8.4 Metodología seleccionada .....	53
8.5 Evaluación de impacto de ciclo de vida comparativo .....	54
9. Resultados .....	55
9.1 Condiciones meteorológicas en la zona de Ciudad Universitaria .....	55
9.2 Lectura de potencias nominales .....	56
9.3 Consumo energético anual del Centro de Diseño Mecánico .....	60
9.4 Análisis de ciclo de vida de energía convencional usada en el Centro de Diseño Mecánico .....	65
9.5 Análisis de ciclo de vida de paneles solares .....	66
9.6 Análisis de ciclo de vida de aerogeneradores .....	67
10. Análisis de resultados .....	68
11. Conclusiones .....	71
12. Bibliografía .....	72

## Resumen

México tiene como objetivo generar 35% de energía eléctrica con fuentes renovables para el 2030 [1], esto muestra un área de oportunidad para todos, ya que para cumplir este objetivo son necesarias propuestas que tengan tanto cuestiones técnicas como ambientales. Es por esto que surge la necesidad de proponer alternativas energéticas sostenibles para entornos con gran consumo energético anual, como es el caso de universidades, plazas comerciales, hospitales, edificios de oficinas y departamentos.

En este caso, este estudio se enfoca en el análisis sustentable para proponer dos diferentes fuentes de energía renovable para el edificio del Centro de Diseño Mecánico (CDM) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Con ayuda de la herramienta de análisis de ciclo de vida se podrá hacer una comparación que permita saber cuál opción es la que tiene una menor huella de carbono y de agua.

En primer lugar, es importante conocer la situación en el avance de energías renovables mundial para poder compararla con la de México, además, informar cuáles son los diferentes análisis que se han hecho tanto en universidades extranjeras como en la UNAM. Para posteriormente, explicar la herramienta de análisis de ciclo de vida y como esta ha ayudado a la toma de decisiones que ayudan a mejorar el medio ambiente.

Consecuentemente, el establecimiento de una metodología a seguir ayudará a qué se cumplan con los objetivos planteados. Esta metodología, contiene desde los pasos a seguir para obtener el consumo energético anual en el CDM, hasta obtener los análisis de vida tanto de la energía eléctrica convencional como de las energías renovables.

Así mismo, en este trabajo se muestran las diferentes configuraciones que se pueden tener tanto para la colocación de paneles solares como de aerogeneradores, para esto es necesario conocer los requisitos de instalación y mantenimiento, esto para aprovechar lo máximo posible de la energía solar y eólica que se pudiera obtener para utilizar en el CDM.

Finalmente, los resultados de los análisis de ciclo de vida mostrarán si realmente es posible reducir la huella de carbono y de agua con el uso de energías renovables (solar y eólica) y en qué medida estas se reducen.

## Introducción

Actualmente, el uso de combustibles fósiles ha ido incrementado cada vez más, una de las principales razones es el uso desmedido de automóviles, más también se utilizan en gran medida para generar energía eléctrica. De acuerdo con el Banco Mundial, en el 2015, casi el 80% de la energía eléctrica era generada a partir de combustibles fósiles [2]. Mientras el aumento de gases de efecto invernadero generados por la quema de combustibles fósiles, ha sido reconocido como uno de los principales causantes del calentamiento global, que ha traído como consecuencia el derretimiento de los glaciares, el incremento del nivel del mar, acidificación de los océanos, cambio de los patrones climáticos y como consecuencia cambios en los ecosistemas.

Países considerados primermundistas han creado políticas para reducir el uso de combustibles fósiles, los conocidos bonos de carbono, estimulaciones fiscales para promover el uso de energía renovable, implementaciones y mejoras al transporte público y uso eficiente de la energía son algunas de ellas. Mientras en México la situación es muy diferente, se tiene previsto que para el 2021 la generación de energía eléctrica sea al menos generada con energías renovables en un 35% [1]. Aunque, los datos mostrados por el banco mundial muestran que falta un gran camino para cumplir la meta, según datos proporcionados por el banco mundial la energía eléctrica generada por la quema de combustibles en México es de un 85% [3].

Lo anterior no quiere decir que las energías renovables vayan a tener 0% de impacto negativo al medio ambiente si no que es necesario estudiarlas y considerar sus posibles impactos para compararlo con los que hay actualmente. Por otra parte Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite de forma integral la evaluación cuantitativa y sistemática de los aspectos ambientales de un producto o sistema a lo largo de su ciclo de vida. El ACV valora todas las entradas y salidas de las sustancias, e investiga los impactos ambientales de principio a fin a lo largo del ciclo de vida completo, desde la exploración y el suministro de materiales y combustibles, la producción y el funcionamiento del objeto estudiado, a su eliminación y/o reciclaje [4]. Tal conocimiento permite valorar el riesgo de simplemente trasladar la contaminación de un medio ambiental a otro. El ACV principalmente se ha aplicado para evaluar los impactos del ciclo de vida de los productos, pero también puede ser utilizado para la evaluación de servicios, tecnologías o regiones.

## **Objetivo general**

Análisis sustentable de dos propuestas de generación de energía alternativa para satisfacer el 35 % de la electricidad requerida en el Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

## **Objetivos específicos**

Determinación del consumo energético anual basado en la lectura de potencia de los equipos del Centro de Diseño Mecánico (CDM).

Determinar los requerimientos de instalación y mantenimiento de dos sistemas propuestos de generación de energía alternativa: paneles fotovoltaicos y aerogeneradores

Análisis de ciclo de vida del consumo eléctrico del CDM tomando como base la alimentación energética convencional

Análisis de ciclo de vida de los dos sistemas propuestos de energía alternativa: desde la producción de sus componentes hasta el fin de su vida útil y su reciclaje.

## 1. Marco teórico

El concepto de energía renovable ha tenido un gran impacto en los últimos 20 años, ya que se ha buscado la forma de reemplazar los combustibles fósiles, como el petróleo o el carbón, para reducir la contaminación que estos generan, por lo que se dice que el cambio climático ha sido una de las principales fuerzas para la promoción de la energía renovable, la energía renovable no sólo se utiliza para la producción de electricidad, si no también, para la producción de calor y como combustible para vehículos [5].

La SENER define a las energías renovables como aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes [3].

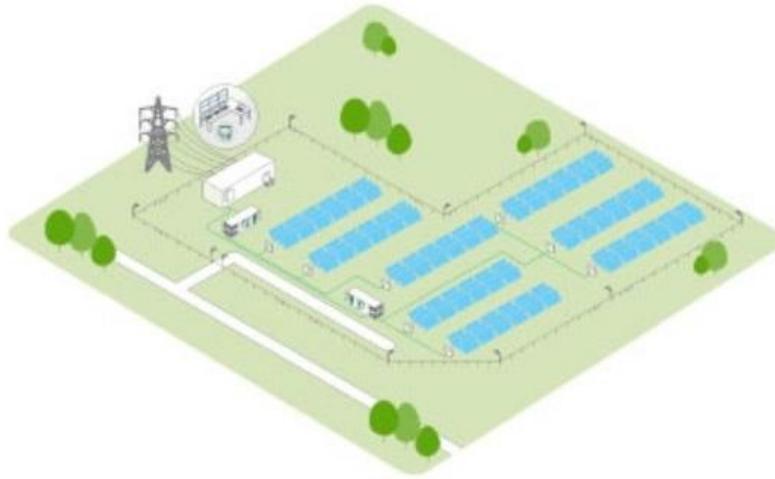
### 1.1 Tipos de energía renovable

La energía a través de fuentes renovables es considerada como una energía renovable y limpia, siempre y cuando su uso sea moderado: esto quiere decir que su utilización no sobrepase la creación de la misma. A continuación, se explicará brevemente en qué consisten las energías renovables más utilizadas en el mundo, que son: hidráulica con el 61.5% del total de capacidad mundial, seguido de la energía eólica con 21.2%, energía solar con 11.4% y bioenergía con el 5.2% [1].

#### Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se produce con la luz solar, esta a su vez contiene fotones que se utilizan para generar energía eléctrica, esto se llama fenómeno fotovoltaico. Para poder aprovechar la energía del sol se hace uso de celdas fotovoltaicas, las cuáles se encargan de convertir la energía solar en eléctrica. La forma más común de las celdas fotovoltaicas se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual los fotones de la luz inciden sobre un dispositivo semiconductor de dos capas, lo cual produce una diferencia del voltaje, este conduce una corriente a través de un circuito externo produciendo voltaje y corriente directa, este voltaje puede ser suministrado directamente a los equipos de corriente continua o puede trasladarse a un inversor para que se suministre a aparatos de corriente alterna [6].

Generalmente las instalaciones de celdas fotovoltaicas se componen de cuatro elementos, que son: celdas, inversores, reguladores de voltaje y baterías. Los reguladores de voltaje son necesarios, ya que no permiten que haya una sobrecarga o descarga en la batería.



*Figura 1: Diagrama de una planta solar fotovoltaica.  
Fuente: SIEMENS, [7].*

En las últimas décadas, las tecnologías fotovoltaicas han experimentado un enorme avance tanto a nivel científico como tecnológico. La eficiencia de los diferentes tipos de celdas se ha incrementado cinco veces y, desde el punto de vista de la innovación, actualmente se cuenta con tres generaciones de celdas desarrolladas. Los costos y la cantidad de energía necesaria para la fabricación de paneles fotovoltaicos se han reducido en tal medida que la inversión se puede recuperar durante los dos primeros años de uso, mientras que la confiabilidad contra fallas y condiciones climáticas adversas otorga garantías que exceden los veinte años de vida útil [8].

## Energía eólica

La energía eólica es la energía cinética del viento, que es provocada por las corrientes de aire: esta energía, como la mayoría de las renovables depende en cierta forma de la energía solar. El sol provoca diferentes temperaturas en cada zona del planeta por lo tanto se obtiene diferentes presiones atmosféricas y esto hace que las masas de aire de alta presión se desplacen a zonas de baja presión originándose el viento [4].

Para aprovechar la energía del viento se utilizan aerogeneradores, el viento es una fuente de energía que se puede obtener en todos lados, sin embargo, esta energía depende del estado meteorológico de las zonas, lo que hace que dificulte su implementación. Además, se debe de considerar la dirección del viento, para colocar los aerogeneradores de tal manera que se aproveche la mayor cantidad de energía del viento. Así, un aerogenerador aprovecha la energía cinética del viento, la cual hace

mover sus hélices, en consecuencia, las hélices hacen funcional un generador el cual produce electricidad la cual se distribuye y se almacena.

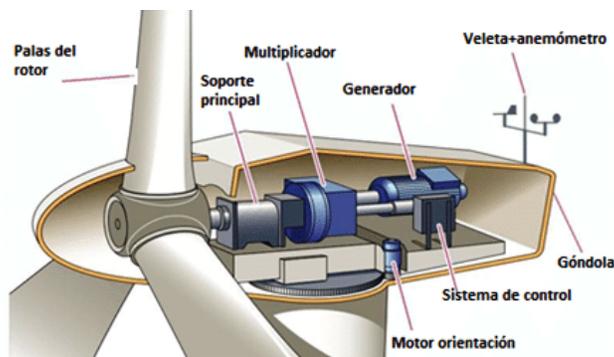


Figura 2: Funcionamiento de un aerogenerador.  
Fuente: Erenovable, [9].

## Energía hidráulica

La energía hidráulica se basa en el aprovechamiento de la energía potencial y/o cinética del agua de los ríos o mares. Una planta de energía hidroeléctrica aprovecha los recursos hidráulicos para producir energía. Al concentrar grandes cantidades de agua en un embalse o presa, se almacena energía potencial. Así el agua del embalse se traslada mediante canales o tuberías hacia localidades situadas a menor altura. Durante el trayecto la energía potencial se transforma en energía cinética. Por lo anterior, la velocidad que adquiere la masa de agua permite que se produzca una acción de empuje que se aplica a las turbinas, transformando la energía hidráulica en energía mecánica.

Finalmente, los generadores que están acoplados a la turbina giran a su vez, produciendo energía eléctrica. Es debida a la energía potencial contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas [10].

Hoy en día el rango de capacidad de las centrales hidroeléctricas va desde unos pocos cientos de watts a los más de 10 000 MW, un factor de unos cientos de millones de dólares entre los más pequeños y los más grandes. Se pueden clasificar las instalaciones de diferentes maneras:

- Por la altura efectiva de agua.
- Por la capacidad (la potencia nominal de salida).
- Por el tipo de turbina usada.

- Por la ubicación y el tipo de presa, embalse, etc. [4].

## Bioenergía

La biomasa es materia orgánica que contiene poder calorífico que se puede aprovechar para generar energía eléctrica, este poder calorífico depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

El funcionamiento de una planta de biomasa para la generación de energía eléctrica consiste en la recepción de la biomasa, generalmente en forma de alpacas (paja o astillas), posteriormente se colocan automáticamente en una cinta transportadora, que las conduce hasta la caldera. Allí, previamente desmenuzadas, caen a una parrilla vibratoria que favorece la combustión y la evacuación de residuos que no lograron su combustión. Dicha combustión calienta el agua que circula por las tuberías de las paredes de la caldera y por haces de tubos en el interior de la misma convirtiéndola en vapor sobrecalentado.

El vapor sobrecalentado mueve una turbina conectada a un generador que produce electricidad a una tensión determinada, transformándola posteriormente a otra tensión mayor para su incorporación a la red general.

Los residuos que no lograron su completa combustión depositados en el fondo de la caldera, se trasladan a un vertedero autorizado, y las cenizas volantes, retenidas por un filtro, se aprovechan para fertilizantes agrícolas [4].

### **1.2 Metas para la sustitución de fuentes fósiles, compromiso mundial**

En los objetivos de desarrollo sostenible se encuentra el objetivo de energía asequible y no contaminante, el cuál menciona que para garantizar el acceso universal a electricidad asequible para 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal. La adopción de estándares eficaces en función del costo en una variedad de tecnologías también podría reducir en 14 por ciento el consumo mundial de electricidad en los edificios. Esto equivale a la energía generada por unas 1,300 centrales medianas cuya construcción se podría evitar [11].

Según la Secretaría de Energía (SENER) en el 2015 las energías renovables más utilizadas fueron la energía hidráulica con el 61.5% del total de capacidad mundial, seguido de la energía eólica con 21.2%, energía solar con 11.4%, 5.2% bioenergía y el



restante 0.7% se atribuye a tecnologías con energía geotérmica y marina. Así la energía solar fotovoltaica junto con la eólica terrestre, representan el 75% del crecimiento global de la capacidad eléctrica renovable a medio plazo. La energía solar fotovoltaica, aporta casi el 40% de las adiciones globales, mientras que la eólica terrestre es la mayor fuente de nueva generación de electricidad renovable [1].

En la siguiente imagen tomada de la Agencia Internacional de Energía Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) se muestra el aumento de la capacidad mundial de energía renovable y la generación de electricidad:

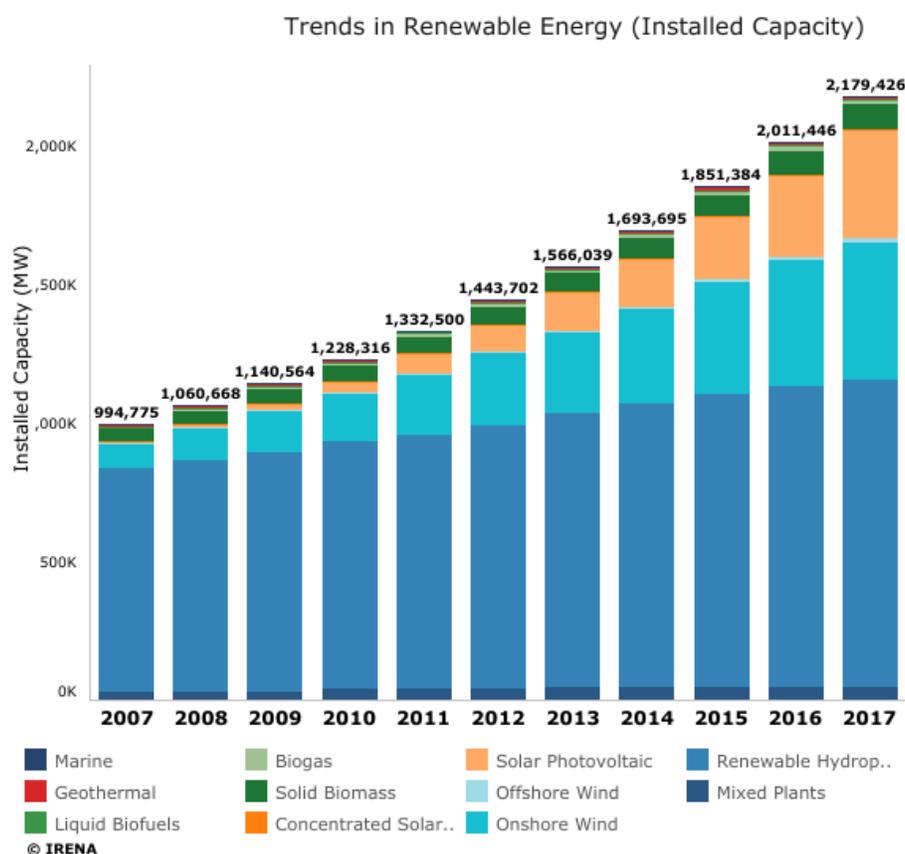


Figura 3: Tendencia de la capacidad de instalación energías renovables y generación de electricidad.  
Fuente: International Renewable Energy Agency, IRENA [12].

Como se puede ver en la figura 3, las fuentes de energía con mayor capacidad de instalación son la hidráulica, la eólica, la solar fotovoltaica y la biomasa, que ya han sido explicadas con anterioridad. Además, la eólica y la solar fotovoltaica han tenido un gran crecimiento en los últimos 8 años y actualmente son de las fuentes renovables más estudiadas en el mundo.

### 1.3 Uso de energías renovables en universidades del mundo

Actualmente ha habido un gran avance en la implementación de energías renovables en el mundo, prueba de eso es el creciente número de casas, hospitales, escuelas y edificios que son alimentados de energía eléctrica con fuentes no contaminantes. Como este trabajo se enfoca en el análisis para el uso de energías renovables en una universidad a continuación se darán a conocer algunos estudios que se han realizado en universidades del mundo para implementar energías renovables.

El primer estudio del cual es importante hablar es el que se realizó en el Campus Highfield de la Universidad de Southampton en Inglaterra, este estudio se publicó en el 2011 y tiene como objetivo investigar y analizar los sistemas fotovoltaicos (para generar electricidad) y las bombas de calor (calefacción de las aulas) para la producción de energía eléctrica y térmica en el campus. Para este propósito, la adquisición de datos se realizó mediante la obtención de las cifras de consumo de energía de los edificios dentro del campus, posteriormente se estudió la forma de poder sustituir los combustibles fósiles como fuente de generación de electricidad y calor con los sistemas fotovoltaicos y las bombas de calor.

Este estudio concluye que el sistema fotovoltaico tiene una eficiencia de rendimiento moderada y no produce reducciones sustanciales de emisiones en relación con la cifra total de emisiones. Sin embargo, los resultados demostraron que este sistema es una buena inversión, ya que comienza a generar ganancias después de un período de tiempo específico. En contraste, el sistema HP tiene una muy buena eficiencia y resulta en reducciones sustanciales de emisiones cuando se compara con los sistemas de calefacción existentes [13].

Otro estudio interesante es el realizado en el campus de la Universidad Técnica de Creta, el cual tiene como objetivo estudiar la implementación de paneles fotovoltaicos para generar el 100% de la energía eléctrica del campus. Como primer paso se obtuvo información del consumo energético del sitio web de medición en tiempo real de la universidad, este contiene todas las lecturas posibles relacionadas con el consumo de electricidad en el campus.

Posteriormente se analizó todo lo referente con los sistemas fotovoltaicos, como la irradiación de la zona, el suelo, la accesibilidad, los tipos de paneles, la orientación, las conexiones e instalación. Finalmente, los resultados mostraron que se consumen 3700 MWh y se producen 2405 toneladas de CO<sub>2</sub> eq., por lo que para cubrir la demanda de energía; la instalación de paneles consistiría en 8206 módulos fotovoltaicos de silicio. Así

las emisiones de CO<sub>2</sub> por generación de energía eléctrica disminuirían considerablemente [14].

Un estudio realizado en 2015 en la Universidad de New Haven en Nueva Inglaterra, Estados Unidos, muestran la viabilidad económica de instalar paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica. Este estudio tuvo como resultado que la cantidad anual estimada de generación solar es de 82,800 kW h, mientras que el flujo de efectivo total se calculó en \$ 360,000 durante la vida útil del diseño del sistema fotovoltaico. Así, el período de recuperación calculado por un análisis multifactorial se determinó en 11 años. Además de concluir que no sólo el sistema fotovoltaico sirve para reducir costos, sino que también se puede usar como una herramienta eficaz para aumentar el nivel de conciencia de la comunidad universitaria en relación con la energía renovable y los esfuerzos sostenibles en general [15].

Finalmente, en 2017 se publicó un artículo con un estudio para hacer un campus sostenible en la Universidad de Osaka, Japón. En este artículo se plantea la opción de instalar paneles fotovoltaicos a lo largo del campus, además de dividir la universidad en tres zonas, que son: zona de bajo consumo energético, zona de medio consumo energético y zona de alto consumo energético. Para obtener los datos de consumo energético de la Universidad se accedió al sistema de información, el cual proporciona datos en tiempo real de la electricidad que se consume en toda la Universidad.

Este estudio concluyó que la implementación de energías renovables (energía solar fotovoltaica) es viable en los edificios de bajo consumo energético, mientras que para un mayor consumo la implementación se vuelve más complicada, por lo que su estudio debe de ser aún más profundo [16].

Como se ha visto en este apartado las universidades en el mundo han buscado la forma de utilizar cada vez más las energías renovables, ya que al ser fuentes de conocimiento es importante que estas promuevan la investigación en áreas de sostenibilidad energética y que sean las primeras en utilizarlas en sus instalaciones. En unos apartados más se estudiará lo que ha hecho la UNAM en relación al uso de energías renovables.

#### **1.4 Energías renovables en México, situación actual**

México está comprometido con el cumplimiento de las metas de mitigación establecidas en la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE1) que señala que el sector eléctrico debe transformarse para que al 2024 un máximo de 65% de la electricidad provenga de

combustibles fósiles [17]. Esta meta se ratifica en la Ley General de Cambio Climático que estipula que el 35% de la generación eléctrica provenga de energías limpias para ese mismo año [18].

De acuerdo al Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), el mayor potencial probado para generación de electricidad en México, es decir, aquel que cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de su aprovechamiento, se encuentra en las energías eólica y solar [1].

Según estudios realizados por IRENA, en el 2017 México tenía mayor capacidad de instalación de energía hidroeléctrica, seguida por la eólica y en tercer lugar la solar, mientras que en generación de electricidad la energía eólica se encuentra en segundo lugar y la solar en quinto lugar [19]. Lo anterior se concluye en que hay un gran potencial para aprovechar energía eólica y solar, sólo que el caso de la energía solar no se ha instalado los suficientes paneles para utilizar esta energía.

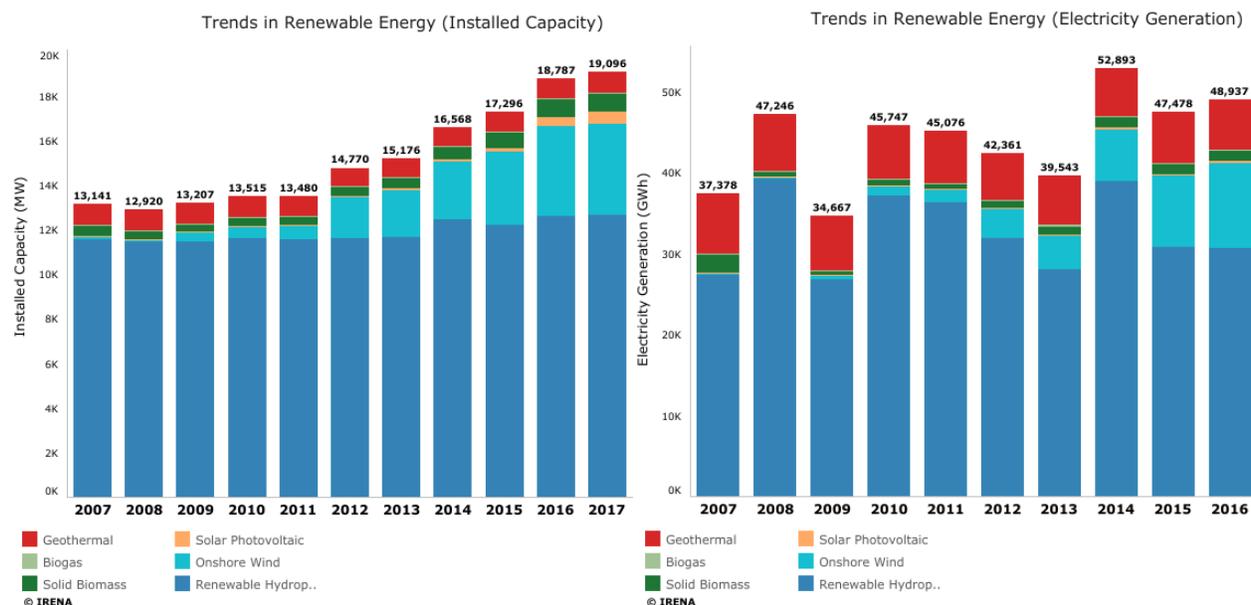


Figura 4: Gráficos que muestran la capacidad de instalación de energía renovables en México y la generación de electricidad mediante energías renovables en México Fuente: International Renewable Energy Agency, IRENA [20].

### 1.5 Uso de Energía renovable en la UNAM

Durante la última década, la energía eléctrica llega a CU a través de cuatro acometidas en cuatro subestaciones; la alimentación de cada acometida se da en media tensión a 23 000 voltios y se distribuye por la red subterránea de 6300 voltios a cuatro subestaciones

derivadas que a su vez distribuyen la energía por toda CU. Con el consumo de energía en CU las emisiones de GEI para el año 2011 alcanzaron las 49.58 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq, y representan el 0.01 % de las emisiones nacionales y el 0.1 % de las emisiones del Distrito Federal. Durante la última década la UNAM ha desarrollado diversos programas de administración sustentable de recursos, como el programa EcoPuma, cuyo objetivo es reducir el impacto ambiental de las actividades de la operación universitaria en los rubros del agua, la energía, los residuos, el consumo responsable, la movilidad, las áreas verdes, la construcción sustentable y la administración universitaria [21].

Además, ya se ha implementado en la UNAM las energías renovables, muestra de ello es la ENES León. Su idea es contar con un campus sustentable, por lo que, se instalaron paneles fotovoltaicos en las canchas deportivas, estos paneles están compuestos por módulos sujetos, lámpara LED y batería [22].

De igual forma, en la alberca olímpica, se ha aprovechado la energía del sol. Con el uso de calentadores solares, para calentar el agua, la alberca de CU ha dejado de consumir un 20 por ciento de gas LP aproximadamente, lo cual significa un gran ahorro económico, y además se ha dejado de emitir menos óxido de carbono, principal gas de efecto invernadero [23].

## **1.6 Análisis de Ciclo de Vida**

En este subtema se explicará el análisis de ciclo de vida como herramienta de comparación para la toma de decisiones.

### **1.6.1 Concepto**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología internacionalmente aceptada para la evaluación de cargas e impactos ambientales asociados a la elaboración de un producto o proceso, teniendo en cuenta todas las etapas de la vida del mismo. Desde la extracción de los materiales para elaborar dicho producto hasta el reciclaje del mismo [24].

El ACV es un proceso en que se reconocen las siguientes etapas, todas ellas interrelacionadas:

- Definición de objetivo y alcance
- Análisis del inventario del ciclo de vida
- Evaluación del impacto del ciclo de vida

- Interpretación del ciclo de vida [25]

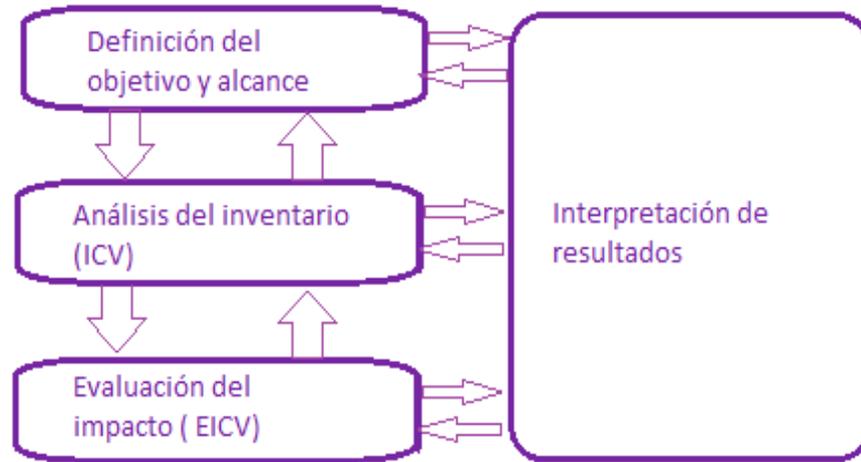


Figura 5: Fases del análisis de ciclo de vida. Fuente: ISO 14040.

En la fase de objetivo y alcance, todas las decisiones generales sobre la configuración del sistema de ACV se toman y definen teniendo en cuenta el propósito, la aplicación prevista y la audiencia. Esta fase también incluye las decisiones sobre la descripción de todo el sistema y sus límites, la selección de categorías y métodos de impacto, y el acuerdo sobre los requisitos de calidad de los datos y sus limitaciones.

En la fase de inventario, la recopilación y compilación de los datos se realiza en un proceso iterativo, teniendo en cuenta las decisiones de objetivo y alcance. La fase de inventario implica la cuantificación de entradas y salidas para un sistema de producto dado a lo largo de su ciclo de vida según lo medido por la unidad funcional seleccionada.

En la fase de evaluación de impacto, los posibles impactos ambientales se calculan en función de los resultados del análisis de inventario, esto se logra con las categorías de impacto, que son clase que representan los problemas o preocupaciones, algunos ejemplos de categorías de impacto son calentamiento global, acidificación, uso de agua o de suelo, entre otras [26].

En la fase de interpretación, todos los resultados se estudian en relación con los requisitos de la aplicación prevista con el fin de extraer conclusiones, explicar las limitaciones y proporcionar recomendaciones [27].

### 1.6.2 Bases de datos y métodos

Una base de datos en análisis de ciclo de vida es un compendio de información generada de estudios de análisis de ciclo de vida (procesos, sustancia, productos y recursos). Algunas bases de datos utilizadas en ACV son: Eco Invent, BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM. Los métodos de análisis de ciclo de vida son elaborados por un instituto de investigación que agrupan modelos matemáticos de categorías de impacto. Entre los métodos más utilizados se encuentran: CML ReciPe, Impact world +, CML, EPS 200 y MEEuP/2005, este último se orienta a análisis de energía [26].

El objetivo principal de un método es transformar la larga lista de resultados de inventario del ciclo de vida, en un número limitado de indicadores. Estos indicadores expresan la gravedad relativa de una categoría de impacto ambiental. En un método se pueden determinar indicadores a dos niveles:

- a. Dieciocho indicadores del punto medio
- b. Tres indicadores de punto final

ReCipe emplea un mecanismo ambiental como base para el modelado. Un mecanismo ambiental puede ser visto como una serie de efectos que en conjunto pueden crear un cierto nivel de daño, como a la salud humana o los ecosistemas. Por ejemplo, para el cambio climático se sabe que una serie de sustancias, aumenta la fuerza radiativa, esto significa que se evita que el calor se irradie desde la Tierra hacia el espacio. Como resultado, más energía está atrapada en la tierra y la temperatura aumenta. Así, se puede esperar cambios en los hábitats de los organismos vivos y como consecuencia puede extinguirse la especie [25].

### **1.6.3 Software**

Un software de análisis de ciclo de vida sirve para el procesamiento del inventario en términos de la evaluación del impacto del ciclo de vida. Uno del software más utilizado en el mundo es el software de OpenLCA, ya que es un software gratuito potente que trabaja con 14 metodologías existentes y contiene 18 bases de datos de varios países, entre ellos México [26].

Además de OpenLCA, otro software utilizado para obtener información de la emisión de CO<sub>2</sub> eq. y consumo de agua y energía, es CES EduPack, este software permite conocer las emisiones por cada kilogramo de tipo material maquinado, por lo que es de gran ayuda en este estudio.

## 1.7 Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la selección de fuentes alternativas de energía

El ACV se utiliza ampliamente en la investigación sobre energía para evaluar la sostenibilidad ambiental y compilar indicadores de sostenibilidad de los sistemas de energía renovable [28]. Algunos ejemplos de análisis de ciclo de vida aplicado a energías renovables se muestran a continuación:

Arvesen et al. en el 2012 revisaron críticamente los estudios de ACV sobre energía eólica, abordando los impactos ambientales de la energía eólica en el ciclo de vida. Identificaron debilidades y lagunas en el conocimiento, las suposiciones y las consideraciones de las operaciones en alta mar para parques eólicos en aguas oceánicas [29].

Asdrubali et al. en el 2015 revisaron los resultados de LCA para energía solar, energía eólica, energía hidroeléctrica y energía geotérmica. Como resultado mostraron que la energía eólica tenía los valores de impacto más bajos y los rangos de variabilidad más estrechos [30].

Bayer et al. en el 2013 presentaron un resumen de los posibles efectos ambientales del ciclo de vida de las plantas de energía geotérmica. Además, definieron un caso universal aproximado para representar una central geotérmica promedio esperada. Indicaron que los estudios de ACV sobre energía geotérmica eran escasos, que las emisiones fugitivas del ciclo de vida eran altamente variables y que los datos recopilados aún estaban incompletos. Como resultado de esta revisión, expresaron la necesidad de informes más transparentes y una mayor evaluación de las consecuencias ambientales locales y regionales para demostrar mejor la sostenibilidad de la energía geotérmica como fuente de energía renovable [31].

Evans en el 2009 revisó las tecnologías de energía renovable contra cada indicador de sostenibilidad. Utilizaron indicadores, como el precio de la electricidad generada, las emisiones de gases de efecto invernadero de ciclo de vida completo, la disponibilidad de fuentes renovables y la eficiencia en la conversión de energía, los requisitos de la tierra, el consumo de agua y los impactos sociales. De acuerdo con sus resultados de clasificación, la energía eólica fue la más sostenible, seguida de la energía hidroeléctrica, fotovoltaica y geotérmica [32].

Turconi et al. en el 2013 revisaron 167 estudios de caso de ACV de generación de electricidad basados en combustibles fósiles y no fósiles para demostrar la variabilidad de los resultados de ACV existentes. Así mostraron que las emisiones de GEI no podrían

utilizarse como un solo indicador para representar el desempeño ambiental de un sistema o tecnología [33].

En México existen pocos estudios de ACV para energías renovables los cuales no son suficientes para evaluar la situación en particular del país respecto a este tipo de energías comparadas con las formas convencionales de producción de energía [34].

Pinto en 2017 realizó un análisis de Ciclo de Vida para generación de energía eléctrica para sistemas renovables, específicamente de energía undimotriz y energía a partir de biomasa, con ello identifico el medio de generación de energía eléctrica que genera menores impactos ambientales, también proporciono datos de inventario para futuros estudios enfocados a ACV y energías renovables México. Como resultado obtuvo que la energía de biomasa y la energía undimotriz (en los escenarios de mini almacén y red) presentan menores impactos que los generados por la tecnología convencional [4].

## **2. Planteamiento del problema**

La secretaria de energía ha implementado un programa hacia el 2030, el cual tiene como objetivo generar el 35% de energía a partir de energías renovables [1]. Sin embargo, hasta el 2017 solo se generó energía eléctrica con el 15.66% de fuentes renovables, entonces en 10 años se debe subir ese porcentaje más de lo doble para alcanzar la meta [3].

Además, no se puede seguir dependiendo de los combustibles fósiles para generar electricidad, más sabiendo que es un recurso que muy probablemente sea escaso en 20 años, tampoco es viable que se sigan produciendo gases de efecto invernadero por la quema de los combustibles para la generación de energía eléctrica, ya que esto genera el 70% de los gases de efecto invernadero emitidos en México.

## **3. Justificación**

El uso de energía solar y eólica se ve como una alternativa para generar electricidad, más también es conveniente saber si realmente son tan limpias como se cree, ya que para producir celdas fotovoltaicas o aerogeneradores se necesitan recursos como agua, electricidad, metales, entre otros. También es importante saber cómo se manejan los residuos que dejan las celdas y aerogeneradores cuando finalizan su vida útil. Lo anterior es posible realizarlo con la herramienta Análisis de ciclo de vida que es un instrumento que permite conocer los impactos ambientales de manera cuantificable, en datos que son posibles de comparar con otras alternativas. Sólo así se sabrá si su uso genera una huella ecológica más pequeña que el uso de electricidad generada a partir de la quema de combustibles fósiles.

Este trabajo plantea un análisis de ciclo de vida comparativo de la adopción de energía solar y energía eólica, para conocer el impacto ambiental. Es importante analizar la posibilidad de obtener energía de fuentes renovables en la UNAM, ya que siendo la mejor universidad de México debe de buscar alternativas que reduzcan las emisiones de gases contaminantes al ambiente.

## 4. Metodología

En este capítulo se desarrollará la forma en que se alcanzará cada objetivo y las herramientas usadas para obtener los resultados. La metodología utilizada para realizar la tesis se muestra en la figura 6, aquí se pueden observar los objetivos fueron planteados y que resultados se esperan.



Figura 6: Metodología a seguir para la realización de la tesis

### 4.1 Definición de escenario

#### Definir lugar de estudio

Un aspecto importante es definir en qué lugar se va a aplicar el estudio, ya que de esto depende la búsqueda de información. Para esta investigación se decidió aplicar el estudio en el Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Debido a que la UNAM es una universidad comprometida con el cuidado del medio ambiente, por lo tanto, sería de gran ayuda que se empezaran a hacer estudios de cómo implementar energías renovables en su campus principal, que es Ciudad Universitaria.

Además, la Facultad de Ingeniería que cuenta con varios departamentos que se enfocan en su estudio. Por lo que sería importante que una parte de la electricidad utilizada en la facultad de ingeniería provenga de fuentes renovables, como el sol o el viento. Por último, se eligió un edificio que cuenta con varias máquinas que se sabe que tienen un gran consumo energético, el CDM es un edificio de la División de Mecánica e Industrial, que cuenta con máquinas como tornos, cortadoras, impresoras 3D, máquinas CNC, esmeriles, taladros, soldadoras, entre otras. Además, la DIMEI es una de las principales divisiones que promueven el uso de fuentes renovables, como por ejemplo el maestro Augusto Sánchez Cifuentes que dirigió el proyecto de uso eficiente de energía y aprovechamiento de fuentes renovables en las pymes del sector turismo, o la materia de temas selectos de termo fluidos: Introducción a las fuentes de energía renovable que fomenta el estudio fuentes alternas limpias para generar electricidad, por lo que sería razonable que cuente con estudios para poder implementar estas energías en un futuro.

#### Caracterización del lugar de estudio

El Centro de Diseño Mecánico es un edificio que se encuentra en el conjunto sur de la Facultad de Ingeniería, en el campus principal de la UNAM, Ciudad Universitaria. Cuenta con aproximadamente 625 m<sup>2</sup> y su estructura está hecha con piedra volcánica. Este edificio pertenece a la División de Ingeniería Mecánica e Industrial, ahí se dan materias relacionadas con la manufactura, diseño mecánico, materiales y robótica.

## 4.2 Metodología para el consumo energético del CDM

### Potencia nominal

Para poder realizar la estimación del consumo de energía se tomará en cuenta la potencia nominal consumida por la máquina, es decir el consumo que se obtenga de esta investigación no será el consumo real del edificio, ya que para saber el consumo real se debe de hacer una de las siguientes actividades, las cuales no son posibles por la limitación del tiempo o de las fuentes de información y recursos.

1. Tener acceso a recibos que indiquen el consumo mensual de energía de todo el año, más como ya se explicó anteriormente, no es posible tener recibos para cada edificio ya que los edificios no cuentan con medidores, por lo tanto, no se conoce el consumo de electricidad por edificación [21].
2. Contar con medidores de potencia, los cuales miden la potencia real de un aparato eléctrico, más este instrumento es costoso y en México hay pocos lugares en donde se pueden adquirir.

Así, se decidió utilizar las potencias nominales de las máquinas, se sabe que con el paso del tiempo los aparatos se desgastan y consumen una mayor potencia que la nominal, por lo que para este estudio se acordó que en vez de analizar energía renovable al 35% como lo indica la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE1) se hará el análisis usando el 40% de energía renovable del total que se estime.

Para conocer el consumo anual nominal del CDM es necesario que se conozca la potencia que consuma cada aparato, las especificaciones de cada máquina se conocerán de cualquiera de las siguientes maneras:

- Lectura de potencia de la placa de datos de las máquinas: En la placa de especificaciones de los equipos se encuentra la información acerca de su consumo energético. Puede contener tanto la información de la potencia consumida o el voltaje y la corriente que necesita para funcionar, en caso de los aparatos de corriente directa.
- Algunas máquinas no contienen placa o son tan antiguas que ya son irreconocibles los datos de la placa, para esto se debe de tratar de conocer el modelo la máquina para así poder buscar su hoja de datos en manuales.
- De las maquinas como el torno mecánico , fresa mecánica, torno CNC, Fresa CNC, cortadora, laminadora e inyector de plásticos se obtendrá la energía utilizada del software de CES EduPack, ya que este da resultados de cada tipo de material utilizado.
- Por último, si no se puede conocer los datos de potencia de la máquina se buscará alguna otra máquina que sea similar a la que se tiene en el CDM, de la cual se pueda conocer su potencia o voltaje y corriente que consumen. Si alguna de las anteriores opciones no se puede cumplir se pasará a preguntar a algún profesor que posiblemente cuente con dicha información.
- Si los datos recabados de la máquina son en consumo de voltaje y corriente, y además la máquina es de corriente directa, se utilizará la siguiente fórmula para obtener la potencia:

$$P = V * I$$

*Donde*

*P es la potencia de la máquina en Watts[W],*

*V es el voltaje utilizado por la máquina  
en Volts*

*[V] e I es la intensidad de corriente en Amperes [ A].*

### Potencia en relación al tiempo

Después de conocer la potencia de cada máquina es necesario conocer su tiempo de funcionamiento a lo largo de un año (desde enero hasta diciembre del 2018), así que es necesario contabilizar el tiempo de funcionamiento de las máquinas. Para conocer las horas de funcionamiento de cada máquina se hará uso de los horarios proporcionados por la DIMEI, en la página de internet (<http://labsmaterialesfiunam.wixsite.com/labmat>) viene incluidos los horarios de prácticas y las máquinas que se utilizan para cada práctica, con esta información se puede conocer la potencia en relación al tiempo de cada máquina, lo cual se detalla en el apartado de resultados.

### 4.3 Límites del sistema

Para el análisis de ciclo de vida de generación de electricidad a través de la quema de combustibles se considerará desde la extracción de materias primas para la construcción de la planta hasta su desmantelamiento, pasando por la construcción de la planta y el uso de esta misma. Basándose en la tesis de la doctora Pinto [4], se realizó el siguiente diagrama para acotar los límites.

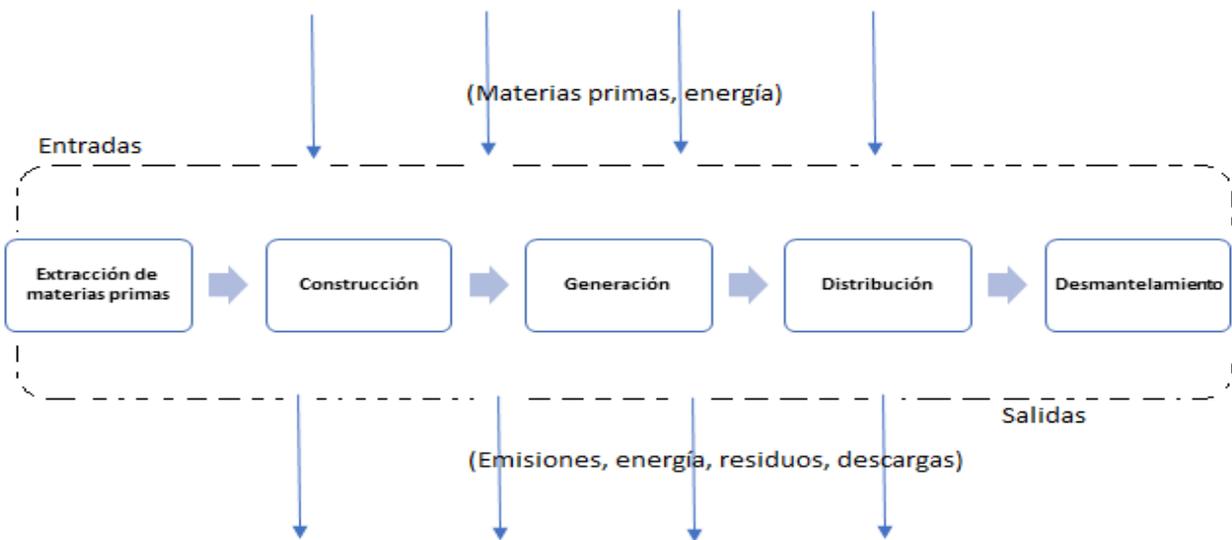


Figura 7: Límites del sistema de generación de electricidad convencional

Para el análisis de ciclo de vida de la generación de electricidad con energía solar se considerará desde la extracción de los materiales para la fabricación de las celdas solares y de los equipos que se necesitan tanto para la instalación como para el mantenimiento de las celdas fotovoltaicas hasta el desmantelamiento de la central fotovoltaica, pasando por la construcción de la central, generación de energía, mantenimiento y conexión a la red eléctrica. En el siguiente diagrama se sintetiza este proceso.

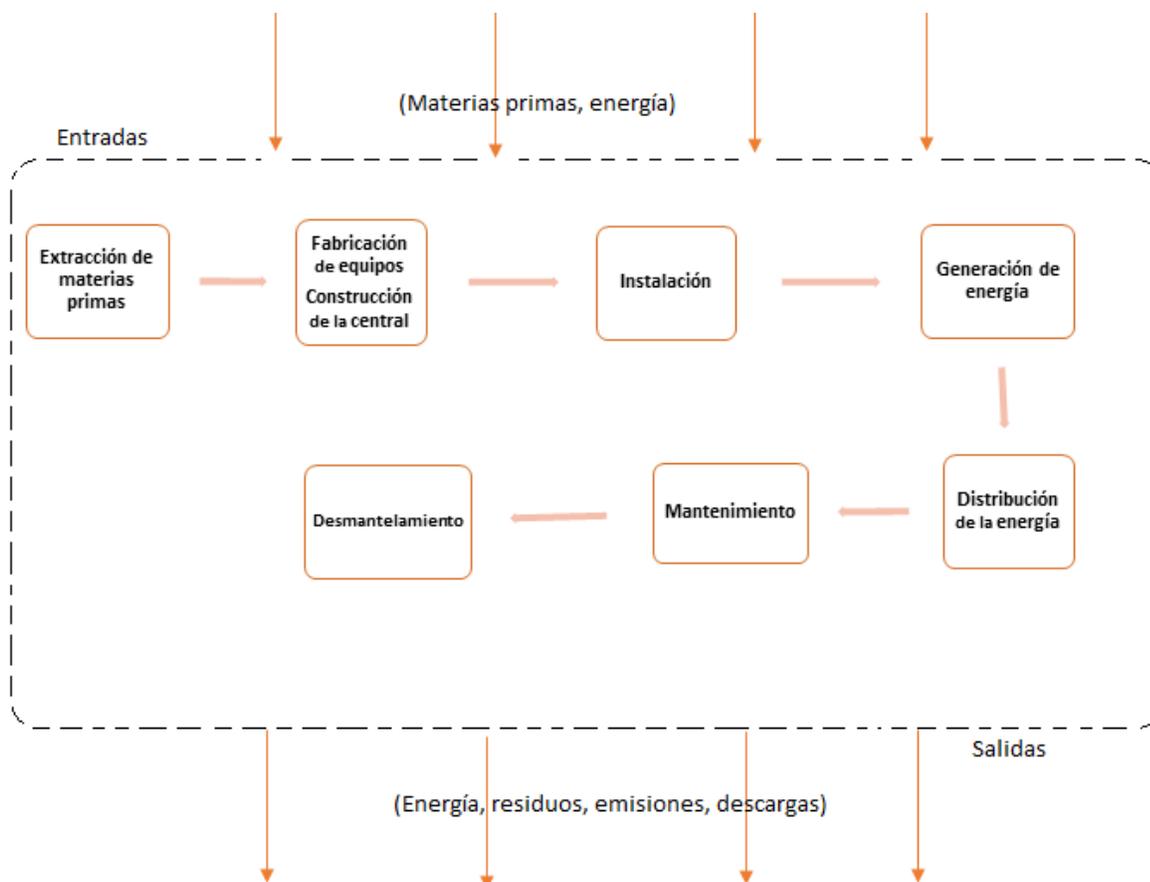


Figura 8: Límites de generación de electricidad con energía solar

Para el análisis de ciclo de vida de generación de electricidad con energía eólica se tomará en cuenta desde la extracción de los materiales utilizados para la fabricación de los aerogeneradores, equipos de instalación y la construcción de la planta eólica hasta el desmantelamiento de la misma, pasando por la construcción de la central, generación de energía, mantenimiento y conexión a la red eléctrica. En el siguiente diagrama se sintetiza este proceso.

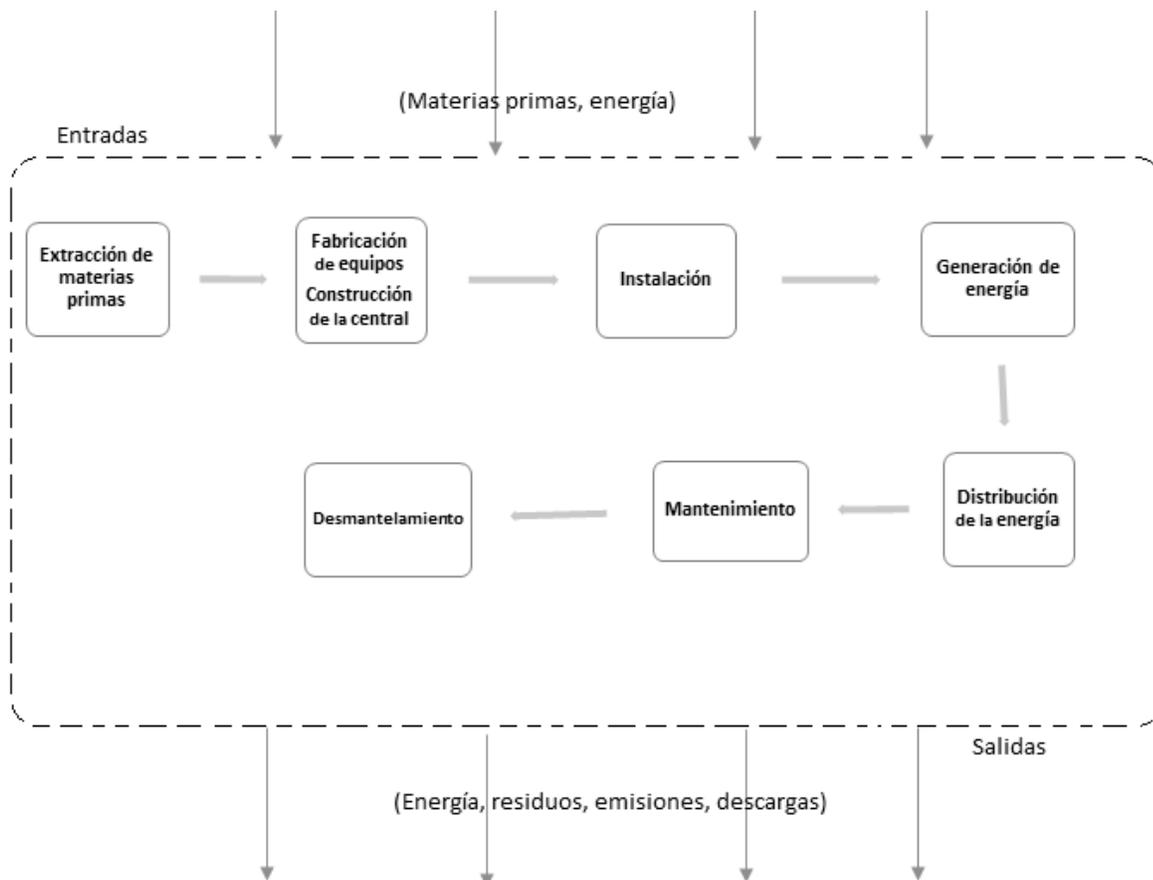


Figura 9: Límites de la generación de electricidad con energía eólica

Además, para los tres análisis de ciclo de vida de generación de electricidad se le agregará el análisis de ciclo de vida de la producción de los materiales que se maquinan en el CDM, esto para tener una perspectiva más completa del uso de energía. En este caso solo se considerará la extracción de las materias primas para producir el material y el proceso de producción.

#### 4.4 Límites temporales y geográficos

El límite temporal se acotará a 25 años, que es tiempo de vida promedio de los aerogeneradores y de las celdas solares. Mientras el límite geográfico utilizado será México, específicamente la Ciudad de México.

#### 4.5 Límites tecnológicos

Generación de energía de manera convencional: Central termoeléctrica de ciclo combinado

Generación de energía mediante energía del sol: Central fotovoltaica

Generación de energía eléctrica mediante energía del viento: Central eólica

#### **4.6 Metodología para el Análisis de Ciclo de Vida del consumo de energía convencional**

Para el análisis de ciclo de vida del consumo de energía convencional en el CDM será necesario utilizar una herramienta, la cual es CES edupack. Este software se encarga de mostrar al usuario los efectos y emisiones que se generan al realizar algún tipo de maquinado, por lo que para poder utilizarlo es necesario saber el tipo de materiales que se utilizan en cada maquinado, el material debe de ser específico, por ejemplo, si es aluminio, debe de saberse con exactitud qué tipo y clase de aluminio. Así, al ingresar el material al software inmediatamente se desplegará datos como: el nombre del material en varias partes del mundo, de que está hecho el material, los efectos que genera la producción del material y los diferentes tipos de maquinados que se le pueden aplicar al material con sus emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo de energía y de agua por kilo de material. Estimación del consumo de energía, de agua y emisión de CO<sub>2</sub> actual.

Para poder estimar el consumo de agua, de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen en el CDM al utilizar energía eléctrica generada con combustibles fósiles, se meterán al software los materiales más utilizados en el edificio, esto se sabrá preguntando a los encargados de los laboratorios y de las prácticas que se hacen en este edificio. Sabiendo esto, se pasará a hacer una tabla para cada material y su maquinado, con todas las emisiones y gastos de agua y energía. Así, con la estimación de kilogramos de cada material y maquinado que se utiliza al año se podrá tener como resultado una estimación del CO<sub>2</sub> que se genera y el gasto de agua y energía en un año.

## 5. Análisis de consumo energético de los equipos del CDM

Para conocer el consumo de potencia de los equipos que se encuentran en el CDM es necesario realizar un layout, este ayudará a tener una representación gráfica de los equipos que consumen electricidad. En este caso un layout es un esquema que permite visualizar la disposición de los equipos a estudiar. Como en el CDM hay equipos que no se utilizan, solo se considerara para el layout los equipos que sean utilizados al menos una vez por semestre.

Como el CDM es un edificio con varias secciones, es necesario hacer un layout por cada sección y así lograr que se observen de manera más clara la representación de los equipos a estudiar.

### 5.1 Layout del CDM

En primera instancia se realizó el Layout para localizar los salones que se encuentran en la planta baja y planta alta del CDM, los cuales se muestran en las figuras 10 y 11.

CDM Planta baja

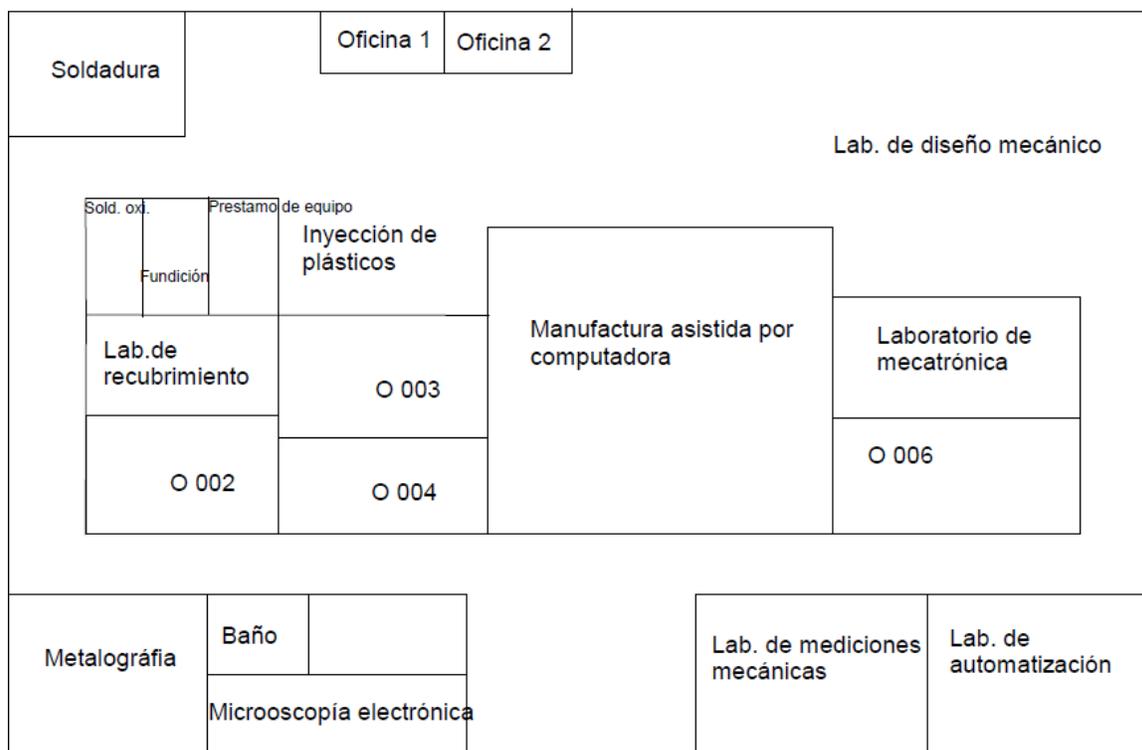
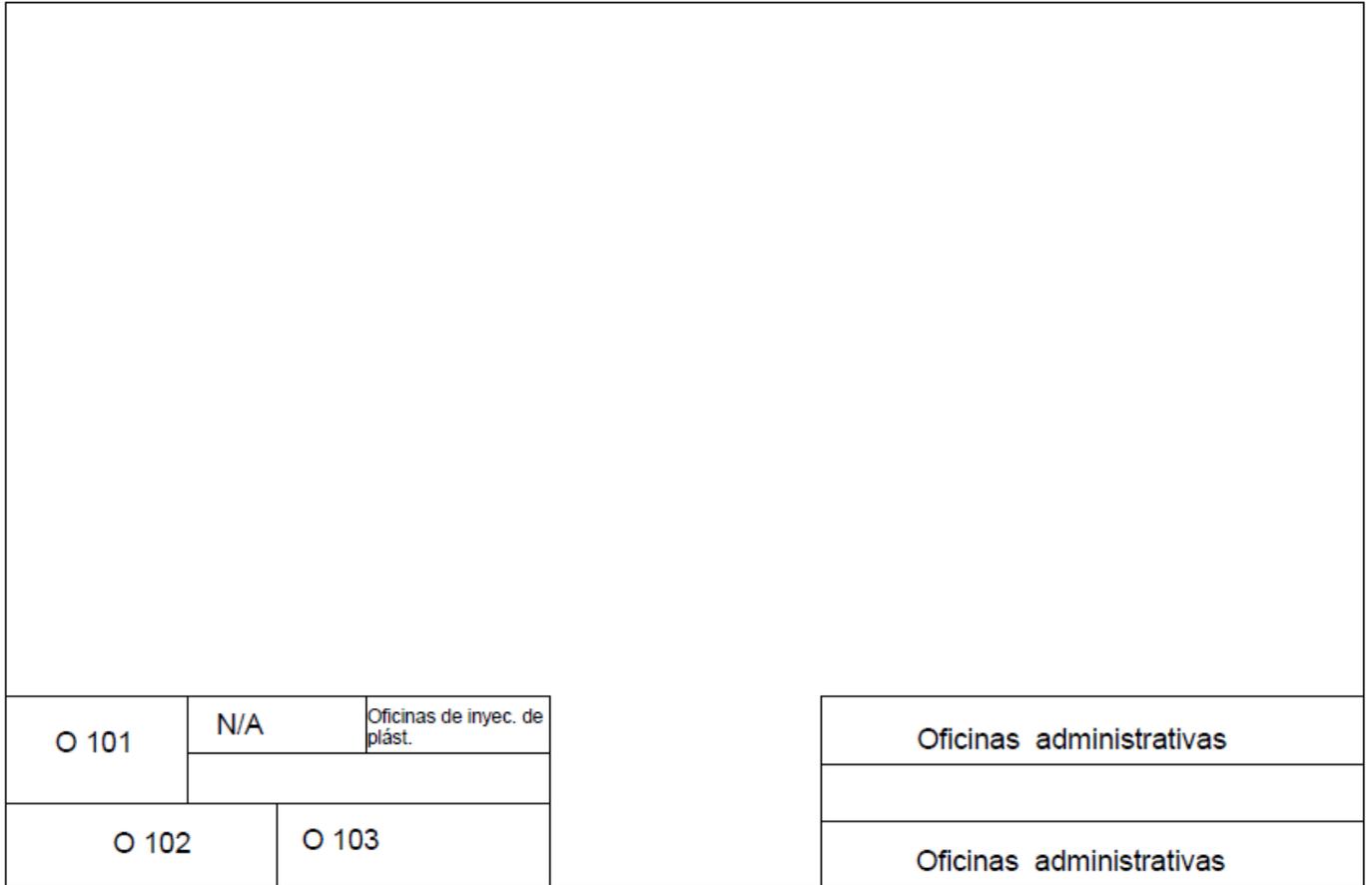


Figura 10: Distribución de la planta baja del CDM

## CDM Planta alta



*Figura 11: Distribución de la planta alta del CDM*

Como ya se mencionó el CDM contiene varias secciones, por lo que se va a dividir los esquemas en áreas, (figuras 12 y 13):

### CDM Planta baja

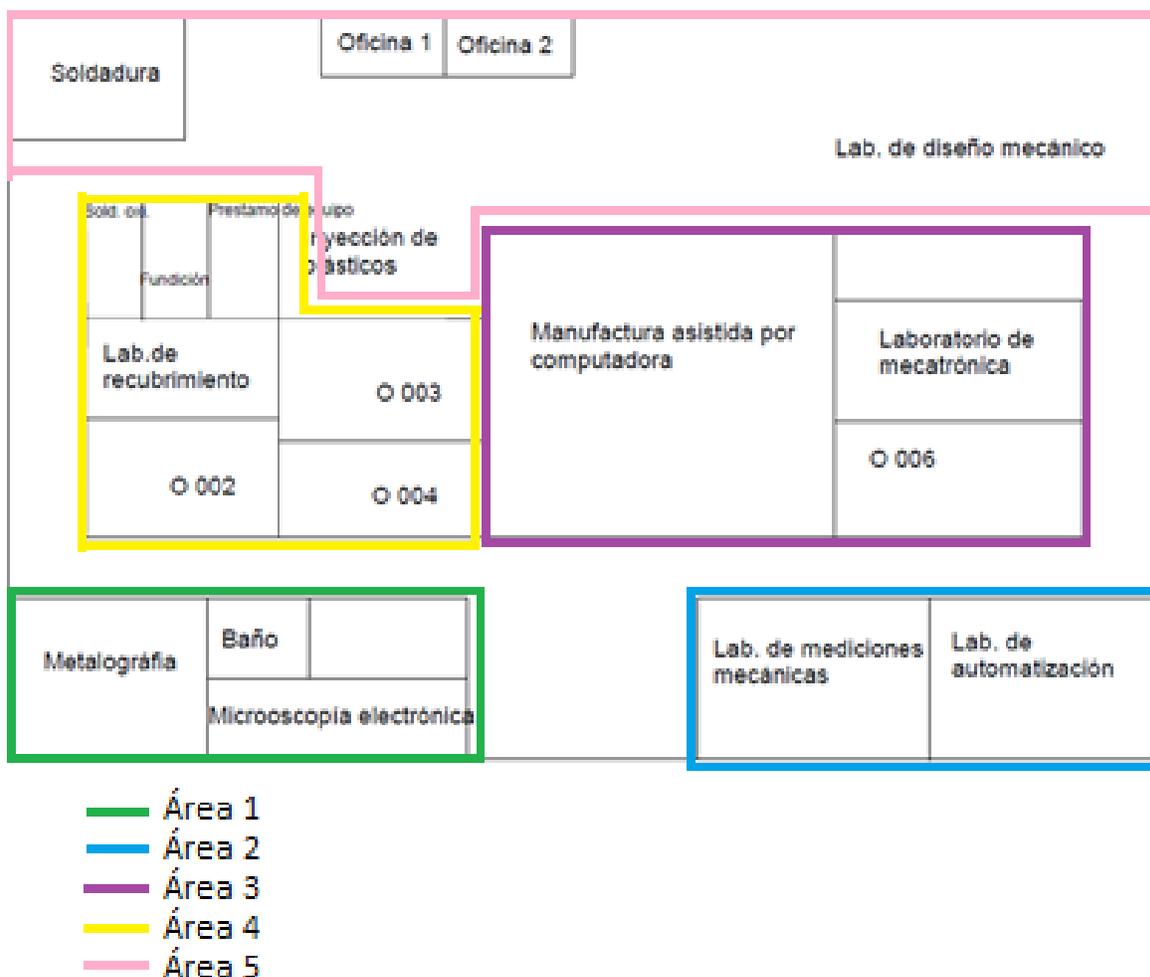


Figura 12: División en áreas de la planta baja del CDM

### CDM Planta alta

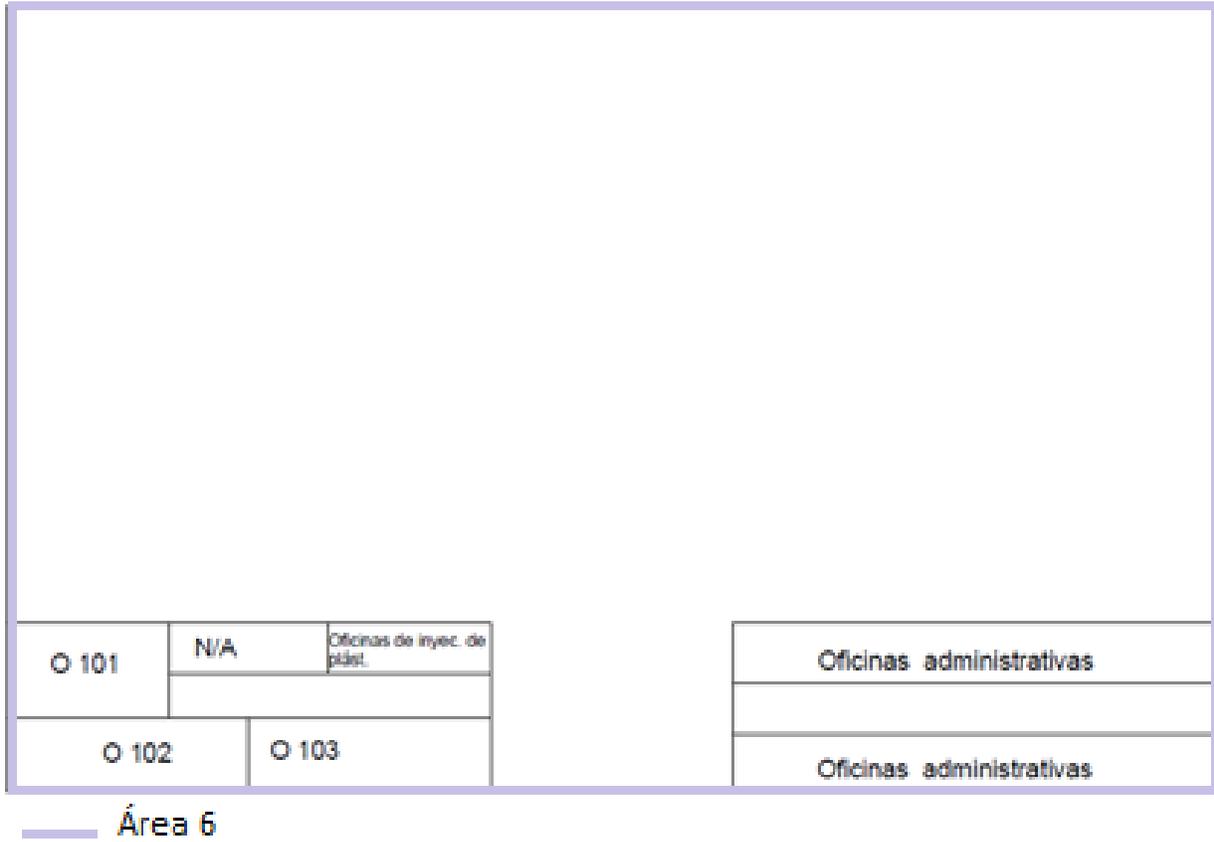


Figura 13: Planta alta como área 6

Después de definir las áreas se realizan los layouts, en las páginas a continuación se muestran los layouts de cada área con sus respectivas iconografías.

## Área 1

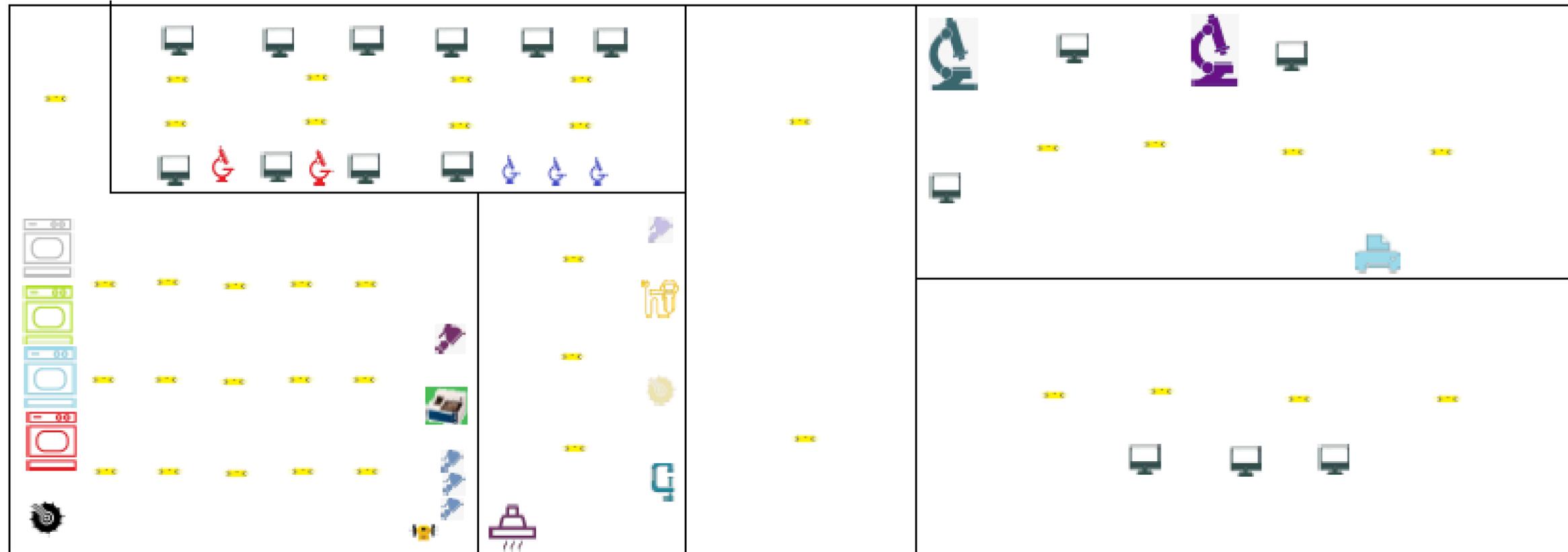


Figura 14: Layout del área 1 (Lab. de metalografía, microscopía electrónica)

### Iconografía

	Lámpara de 48 W		Microscopio metalográfico invertido		Maquina cortadora Isomet 1000
	Horno para tratamientos térmicos		Microscopio metalográfico no invertido		Prensa de montaje automática Buehler Simplimet 2000
	Horno para tratamientos térmicos Caisa		Pulidora Buehler LTD		Campana de extracción
	Horno para tratamientos térmicos Lindberg		Desbastador Surfmet 1		Microscopio de fuerza atómica
	Horno para tratamientos térmicos Kintel		Pulidora Mecapol 4 B		Microscopio electrónico de barrido
	Maquina cortadora Abrasimet 2		Esmeril de banco Dinamo modelo 507		Impresora Epson
	Computadora de escritorio Dell		Electropulidora Electromet 4		

## Área 2

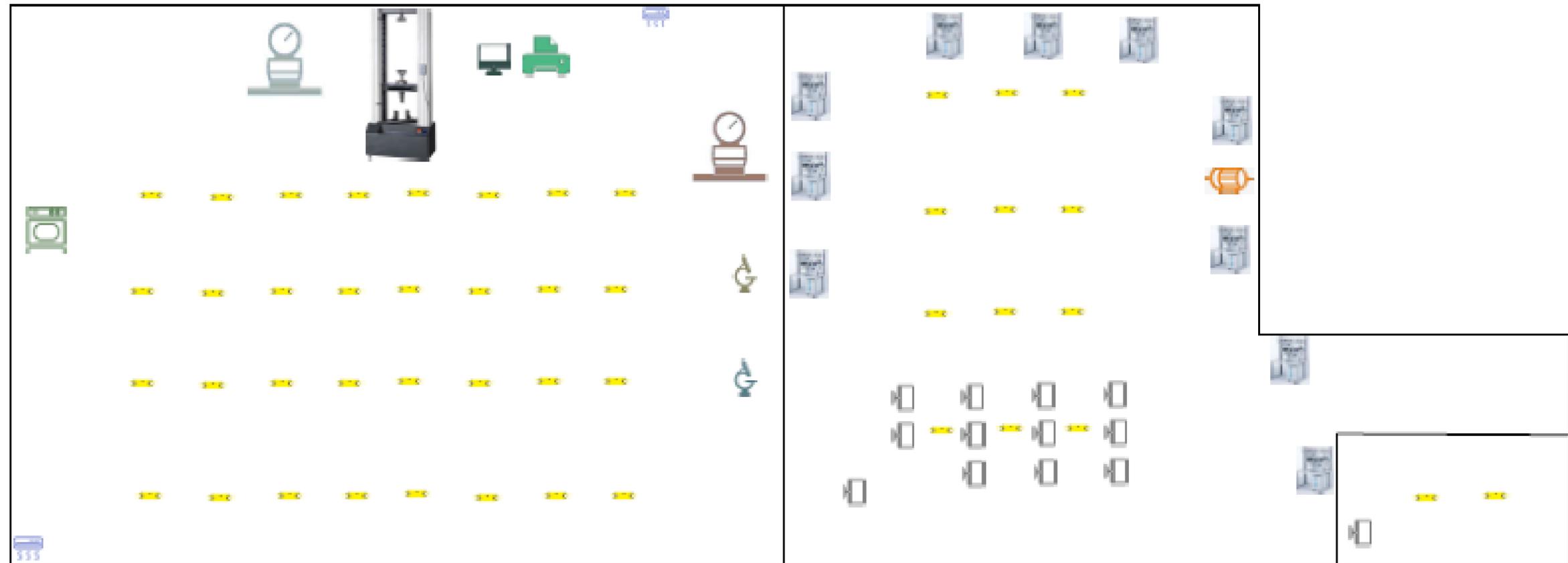


Figura 15: Layout del laboratorio de pruebas mecánicas y del laboratorio de automatización

### Iconografía

	Lámpara de 48 W		Impresora Epson LQ 1070
	Horno para tratamientos térmicos		Durómetro Rockwell Mitutoyo
	Aire acondicionado Samsung		Estereoscopio
	Durómetro Brinell Karl Frank GMBH		Microdurometro Vickers
	Máquina universal de pruebas Instron		Mesa neumática
	Computadora de escritorio		Bomba hidráulica

### Área 3



Figura 146: Layout del laboratorio de CNC, del laboratorio de mecatrónica y del salón O 006

#### Iconografía

	Proyector		Torno emco compact 5 CNC		Impresora 3D dimension sst
	Computadoras Dell		Torno emcoTronic TM02		Torno CNC Emco Turn 242
	Lámpara de 48 W		EmcoTurn 120P		Fresadora CNC Emco VNC 300
	Detector de huella Zksoftwarej		Fresadora emco F1-CNC		Fresadora CNC Chiron FZ 12 S
	Generador de funciones Gwinstek GFG-8219A		Controlador numérico computacional del Torno emco compact 5 CNC		Fresadora CNC Hass VF1
	Osciloscopio Gwinstek GDS-820C		Controlador numérico computacional de la Fresadora emco F1-CNC		Fresadora CNC Emco LS 140
	Fuente de poder Gwinstek GPS-2303				

## Área 4

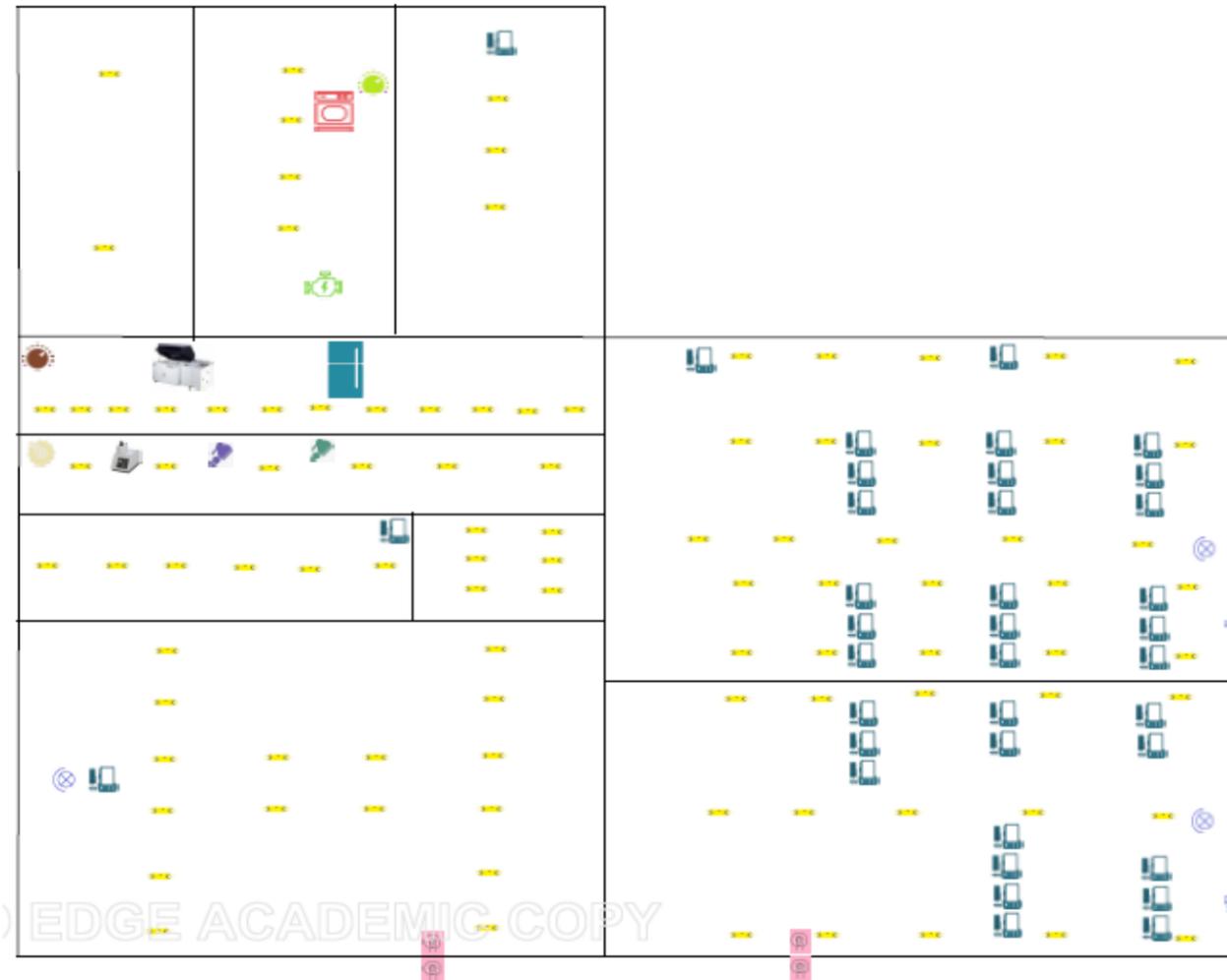


Figura 17: Layout de los salones O 002, O 003 O 004, de los laboratorios de recubrimiento, de fundición y de soldadura oxiacitilenica y del área de pretamo de equipo

Iconografía

	Lámpara de 48 W		Refrigerador		Detector de huella Zksoftwarej
	Horno para fundición de aluminio Emison A25		Maquina cortadora Isomet 1000		Aire acondicionado Samsung
	Motor		Prensa de montaje en caliente automática Metapress A		
	Regulador Emison		Pulidora Ecomet 3		
	Computadora		Pulidora Buehler 250		
	Regulador Industronic		Proyector		

## Área 5

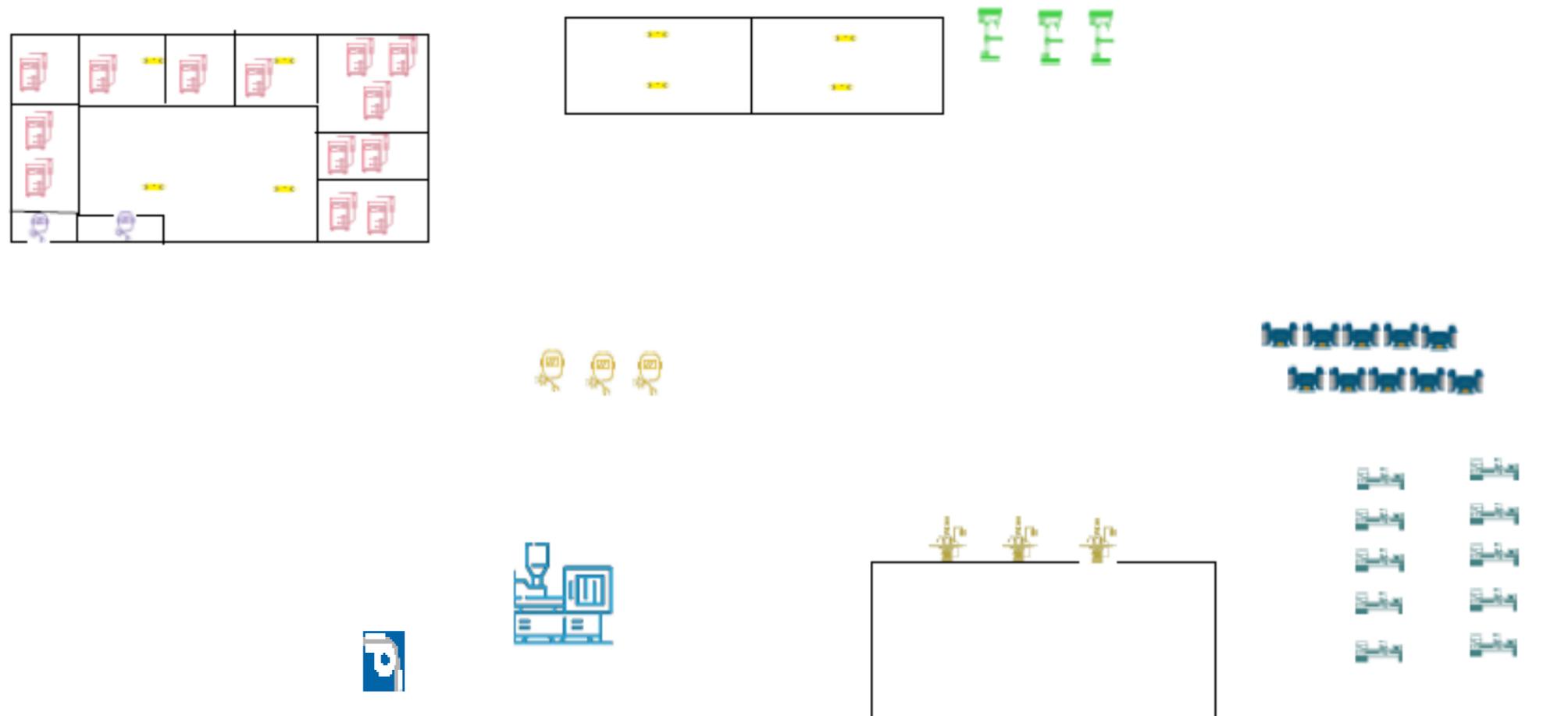
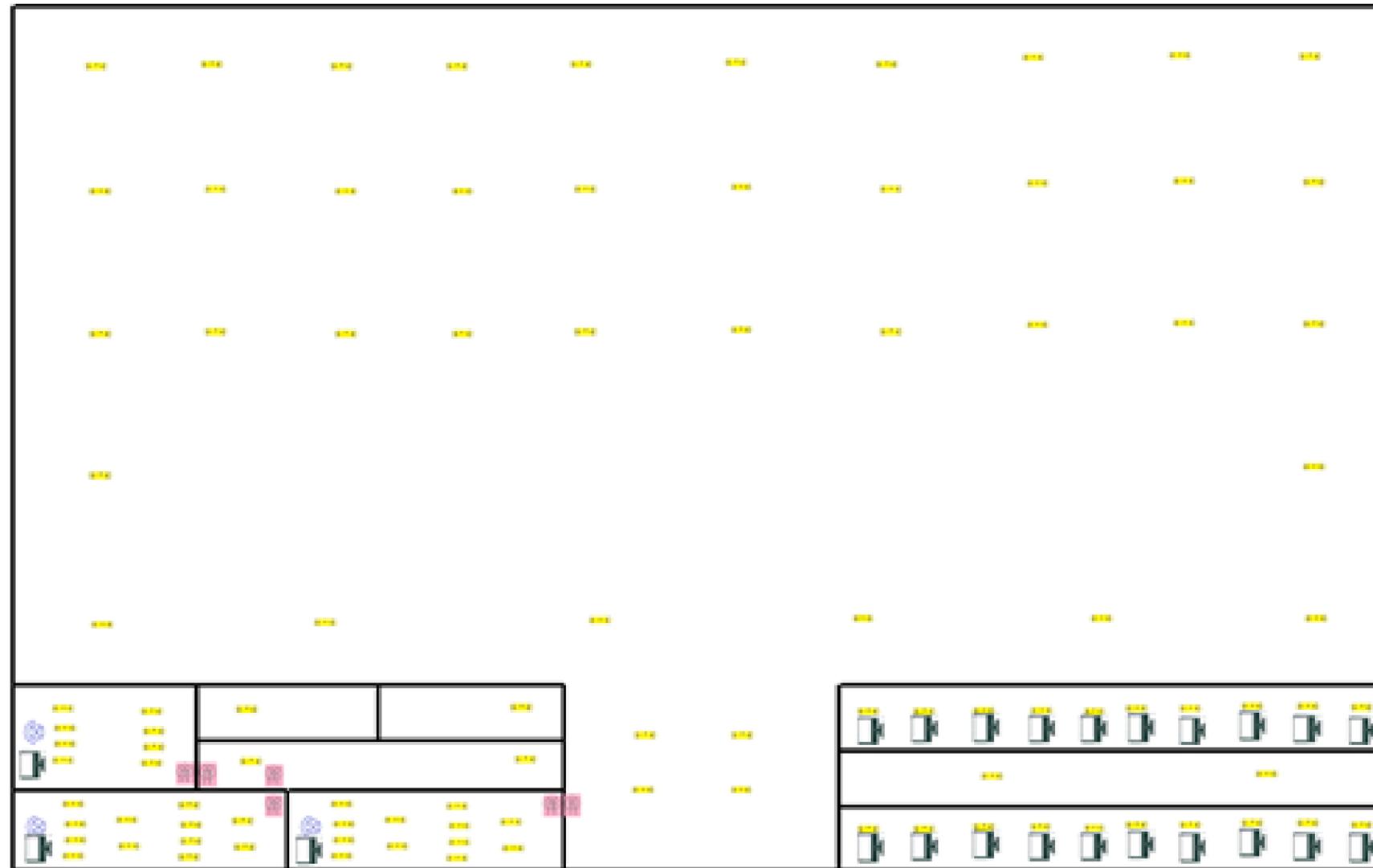


Figura 18: Layout del laboratorio de manufactura

### Iconografía

	Soldadura de arco Miller MM 252		Inyector de plástico Demag ergotech pro 50-270
	Lámpara de 48 W		Fresadoras
	Soldadura de arco Harris		Esmeril
	Soldadura de punto		Torno
	Taladro de banco		Laminadora

## Área 6



*Figura 19: Layout de la planta alta del CDM*

### Iconografía

	Lámpara
	Computadora
	Proyector
	Detector de huella Zksoftwarej

## 6. Requerimientos de instalación y mantenimiento de paneles fotovoltaicos

En este capítulo se estudiará la elección de los paneles fotovoltaicos, que como ya se mencionó anteriormente son los encargados de convertir la energía del sol en energía eléctrica. También se explicará los diferentes tipos y configuraciones que estos pueden tener, además se abordará el tema de las condiciones y el equipo que se necesita para instalar los paneles. Finalmente se muestra el inventario de ciclo de vida.

Para la selección del panel fotovoltaico se seguirán los siguientes pasos, estos para asegurar que la selección sea la más adecuada.

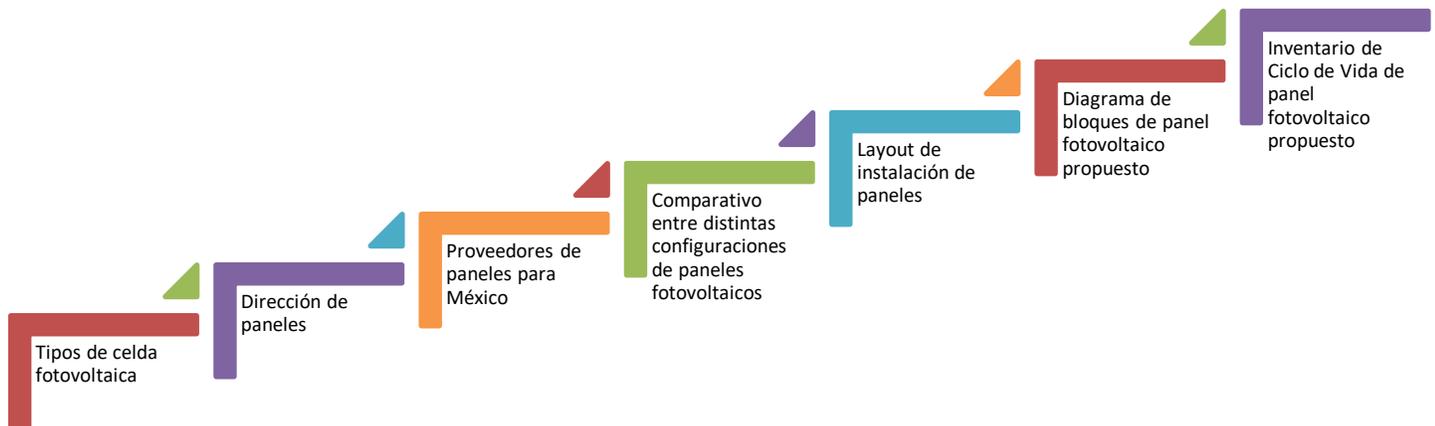


Figura 15: Diagrama que muestra los pasos que seguirán para la elección del panel fotovoltaico a estudiar

### 6.1 Tipos de celda fotovoltaica

Existe una gran variedad de celdas fotovoltaicas, las cuales hay de diferente tamaño, material, potencia y forma. Dependiendo de las características anteriores y de las condiciones del lugar donde se instalan será la eficiencia de estas mismas.

Actualmente existen celdas fotovoltaicas fabricadas con películas delgadas de materiales semiconductores colocados en capas sobre un soporte de bajo costo. Las categorías principales de películas delgadas son: amorfas (a-Si), con eficiencias desde 4% hasta 11.1%, películas delgadas de silicio multiunión (a-Si/ $\mu$ c-Si), con eficiencias de hasta 40%, celdas de telurio de cadmio (CdTe), con eficiencias de 16.5%, y celdas de cobre-indio (di) selenio (CIS) y cobre-indio-galio-di (selenio) (CIGS), con eficiencias de 7% a 19.5%.

Nuevas investigaciones apuntan a la posibilidad de fabricación de celdas con eficiencias significativamente más altas. Una de las propuestas consiste en apilar materiales de distinto grosor en una multiunión (tándem o sándwich), por ejemplo, utilizando cristales semiconductores de medidas nanométricas. Utilizando esta técnica podrían alcanzarse eficiencias de más de 40% a costos relativamente bajos [35].

En la tabla 1 se muestra el tipo de celda fotovoltaica y algunas de sus características:

Tabla 1: Materiales de celdas fotovoltaicas [35].

Material de la celda	Características
<b>Celdas fotovoltaicas monocristalinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obleas de cristal único hechas mediante el proceso de Czochralski</li> <li>• Comprende el 31% del mercado</li> <li>• Eficiencia máxima de 24.7%</li> <li>• Caro: proceso por lotes que involucra altas temperaturas, largos tiempos, corte mecánico</li> <li>• Desarrollado para la industria electrónica.</li> <li>•</li> </ul>
<b>Celdas fotovoltaicas policristalinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tecnología de más rápido crecimiento consiste</li> <li>• Granos de escala mm o cm, formando columnas en dirección de la solidificación.</li> <li>• Eficiencia máxima de 20%</li> <li>• Geometría más rápida y mejor, pero aún requiere corte mecánico</li> </ul>
<b>Películas delgadas de silicio amorfo.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor uso de material comparándolo con el silicio cristalino.</li> <li>• Menos pasos de procesamiento.</li> <li>• Tecnología de fabricación más sencilla.</li> <li>• Eficiencia entre 5% y 7%</li> </ul>
<b>Películas delgadas de telurio de cadmio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor uso de material comparándolo con el silicio cristalino.</li> <li>• Menos pasos de procesamiento.</li> <li>• Tecnología de fabricación más sencilla.</li> </ul>

<p><b>Películas delgadas de diselenuro de indio cobre (CIS)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia entre 9%</li> <li>• Menor uso de material comparándolo con el silicio cristalino.</li> <li>• Menos pasos de procesamiento.</li> <li>• Tecnología de fabricación más sencilla.</li> <li>• Eficiencia entre 9% y 11%</li> </ul>
<p><b>Celdas fotovoltaicas de arseniuro de galio</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor coeficiente de absorción de luz que las de silicio</li> <li>• Pueden operar a temperaturas mucho más altas sin una degradación considerable del rendimiento</li> <li>• se producen depositando capas de <u>galio</u> y arsénico sobre una base de GaAs de un solo cristal, que define la orientación del nuevo crecimiento de cristal</li> <li>• Mucho más caras que las celdas de silicio,</li> <li>• Aplicaciones de alta eficiencia, como las espaciales.</li> </ul>
<p><b>Celdas fotovoltaicas multi-unión</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen 2 o más uniones en capas una encima de la otra, lo que permite que la energía se recoja de múltiples porciones del espectro. La luz que no es absorbida por la primera capa viajará e interactuará con las capas posteriores</li> <li>• Se producen depositando lentamente capas de material sobre una base de un solo cristal</li> <li>• Alto costo de producción</li> <li>• Son comercialmente viables en concentrados aplicaciones espaciales</li> </ul>
<p><b>Celdas solares de perovskita</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden producirse a partir de compuestos orgánicos de plomo y elementos como el cloro, el bromo o el yodo</li> <li>• Bajo costo de producción</li> <li>• Eficiencias cercanas a las de las células de silicio disponibles en el mercado</li> <li>• Vida útil corta.</li> </ul>
<p><b>Quantum dots</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizan la nanotecnología para manipular materiales semiconductores a escalas extremadamente pequeñas</li> <li>• Nanopartículas que se pueden sintonizar a diferentes partes del espectro solar según su tamaño, y combinados para absorber una amplia gama de energía</li> <li>• Eficiencias teóricas son altas, aunque las</li> </ul>

eficiencias de las pruebas de laboratorio son muy bajas.

En la imagen 21, tomada del Instituto Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés), se observa el avance en tecnología de materiales para la construcción de celdas fotovoltaicas a través de los años, desde 1975 hasta el 2018. Además, en la imagen se muestra la eficiencia que se ha logrado con el uso de varios materiales, muchos de los cuales aún están en pruebas de laboratorio y no comercialmente.

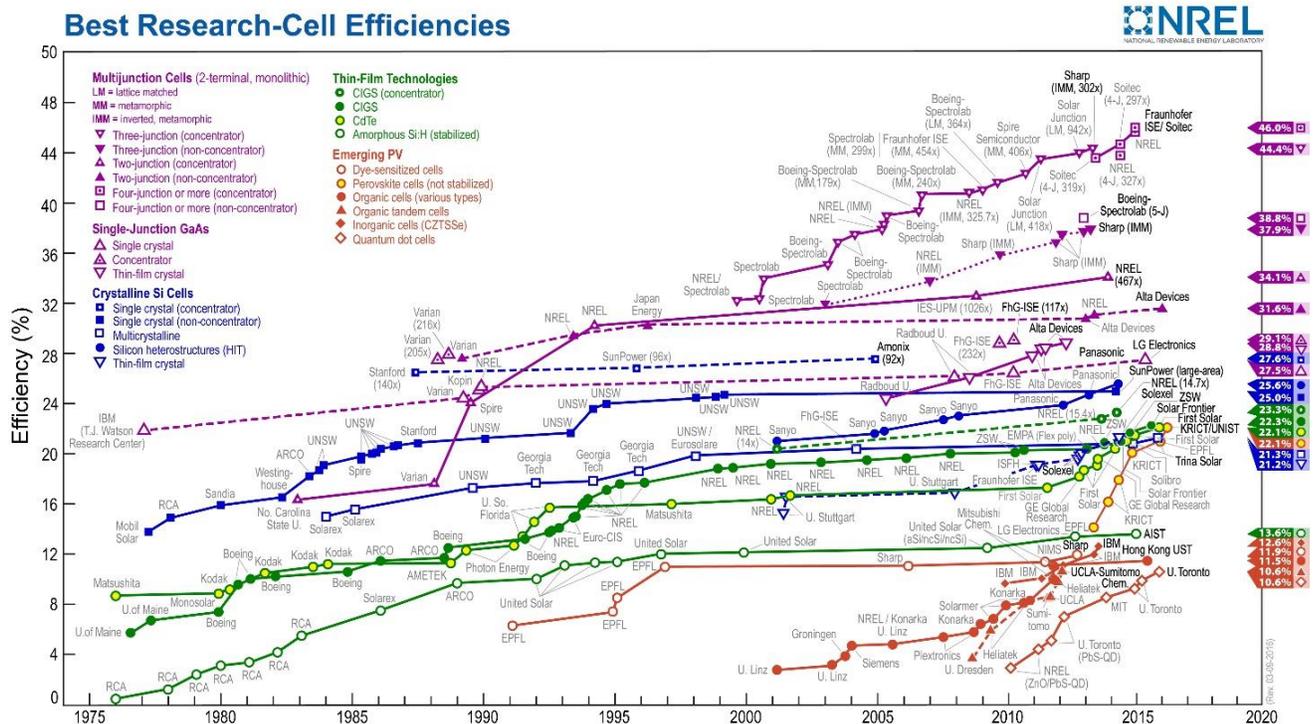


Figura 16: Gráfica que muestra la evolución en el uso de materiales para celdas fotovoltaicas para mejorar su eficiencia.

Fuente: NREL [36]

Como se puede observar en la figura 21 las celdas con mayor eficiencia son las tipo multi-uni3n y como se explic3 en la tabla anterior es por su caracteristicas de tener varias capas de material que puede absorber la luz en varias oportunidades. Algo notable es el r3pido crecimiento de las tecnolog3as emergentes, como los Quantum Dots y el uso de nanomateriales, que en poco tiempo han alcanzado eficiencias de hasta 80%.

Por ser el de uso m3s comercial, el panel fotovoltaico de silicio es el que ser3 tomado para este trabajo. Com3nmente un panel fotovoltaico de silicio consta de 60 a 96 celdas solares individuales de 15 cent3metros cuadrados (cm<sup>2</sup>), cada una con capacidad de

producir de 4 a 5 Watts en hora pico (dependiendo de cuantas multi-uniones tenga). Generalmente las dimensiones típicas de los paneles fotovoltaicos comerciales son de 1 m por 2 m por 4 centímetros (cm), con capacidad para generar una potencia pico de 260 a 320 Watts [8].

## 6.2 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos es el que forman con respecto a la horizontal en donde están instalados. Este dato es de suma importancia, ya que del ángulo de inclinación depende que la luz absorbida sea la mayor y así tener una buena eficiencia. Para determinar el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos es necesario conocer la latitud del lugar donde se colocarán, ya que se ha descubierto que este aspecto es el principal factor para tener una buena absorción de la luz. Se sabe que en Ciudad Universitaria se tiene una latitud norte de 19.319°, entonces se debe instalar mirando hacia el sur con un ángulo de 19° respecto la horizontal en el terreno donde se encuentra.

## 6.3 Proveedores y costos

A continuación la tabla 2 muestra información de los diferentes proveedores, marcas y costos de los paneles fotovoltaicos, de estos paneles se elegirá uno, tomando en cuenta el tamaño y la potencia que puede generar.

Tabla 2: Proveedores y costos de paneles fotovoltaicos, [37].

Modelo	Marca	Potencia	Costo	Otras características
<b>MÓDULO CNX-50</b>	CONERMEX	50W	USD 68.00	Vidrio de alta transmisión con acabado antirreflejante. Caja de conexión resistente al agua. Diseñado especialmente para cubrir las necesidades del mercado residencial, comercial e industrial.
<b>PS260P-20/U</b>	CONERMEX	260W	USD 248.00	Policristalino
<b>PS315P-24/T</b>	CONERMEX	315W	USD 320.00	Policristalino
<b>LG360S2W-A5</b>	LG	360W	USD 350.00	Monocristalina
<b>MAXPOWER CS6U-315</b>	CanadianSolar	315W	USD 400.00	Policristalina
<b>Q.PRIME-G5 270</b>	QCells	270W	USD 380.00	Monocristalina
<b>RMS-6-260</b>	Risen	260W	USD 210.00	60 unidades de células policristalinas

De acuerdo con la tabla anterior se decidió seleccionar el panel fotovoltaico PS315P-24/T de la marca CONERMEX [37], ya que es de 315W y su costo es menor comparado

con los demás, además de que es policristalina lo que ayuda a tener un eficiencia de más del 80%.

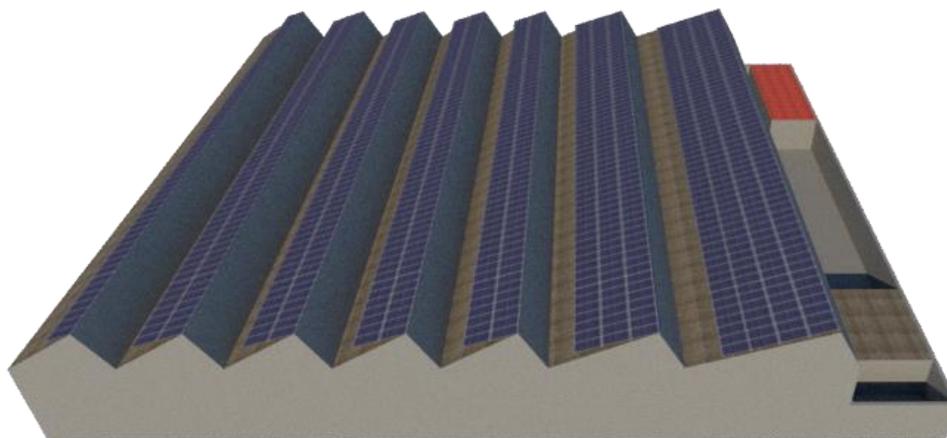
#### 6.4 Comparativo entre distintas configuraciones de paneles fotovoltaicos

Existen dos tipos de clasificaciones de instalación: instalación autónoma e instalación conectada a la red. Mientras que la instalación autónoma proporciona la energía directamente al lugar donde se instala y utiliza una batería, la instalación conectada a la red proporciona la energía, vendiendo o entregándola, al organismo encargado de la gestión de energía en el país, en este caso a CFE.

A continuación se mostrarán esquemas con diferentes configuraciones de instalación de paneles fotovoltaicos conectados al CDM.

##### Configuración de paneles sobre el techo del CDM

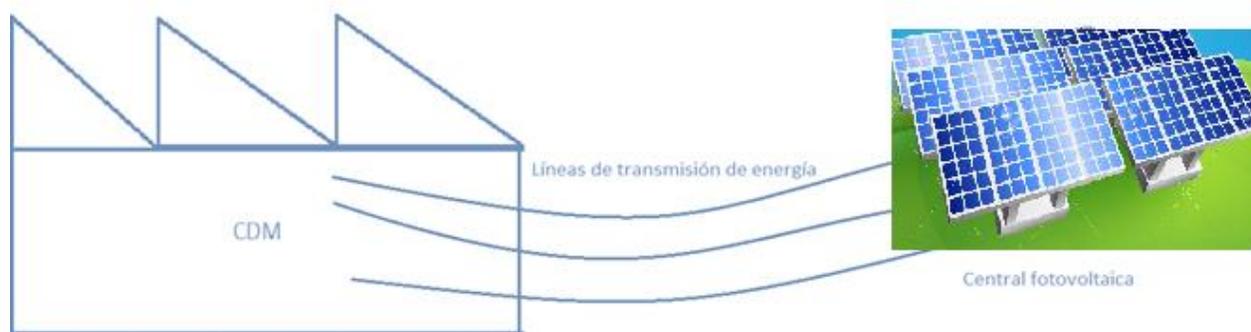
Esta configuración tiene la ventaja de que no hay cables largos para transmitir la energía, así se podría aprovechar de manera inmediata la energía eléctrica y se ahorrarían las pérdidas de transmisión, más esta opción tiene desventajas, ya que el espacio es reducido y la forma del edificio no ayuda a la distribución y mantenimiento de los paneles. Además, se ha demostrado que el uso de paneles aumenta en 1° C la temperatura debajo de estos, por lo que es posible que el edificio aumente de esta misma manera su temperatura.



*Figura 17: Paneles fotovoltaicos encima del techo del CDM.  
Fuente: Imagen proporcionada por la Maestra Erika Leyra.*

## Configuración fuera la facultad

Esta configuración permite que se pueda conseguir un mayor espacio de trabajo, para posteriormente agregar más potencia a la central, sin embargo la conexión con la red y el CDM sería más compleja y se necesitaría más elementos de conexión.



*Figura 18: Configuración con la central fotovoltaica fuera de la facultad*

En este caso, se elegirá la opción de la central fuera de facultad, ya que de esta manera se pudiera tener un mayor espacio de trabajo, además, el techo del CDM no sería espacio suficiente para colocar los paneles necesarios para generar el 40% de la energía consumida en este.

### 6.5 Layout de instalación de paneles

A continuación en la figura 24 se muestra un layout de cómo sería la instalación de los paneles fotovoltaicos, ya con las etapas que se necesitan para el suministro de energía fotovoltaica. La luz solar es transformada en electricidad por los paneles fotovoltaicos de la planta en corriente continua, la corriente continua (DC) es transformada en corriente alterna (AC) por los inversores, luego los transformadores elevan el voltaje de baja tensión a media tensión, para luego en la subestación, elevar el voltaje de media a alta tensión. Se decidió una configuración conectada a la red, ya que en esta no se hace uso de baterías ni regulador, ahorrándose el impacto ambiental que estos generarían.

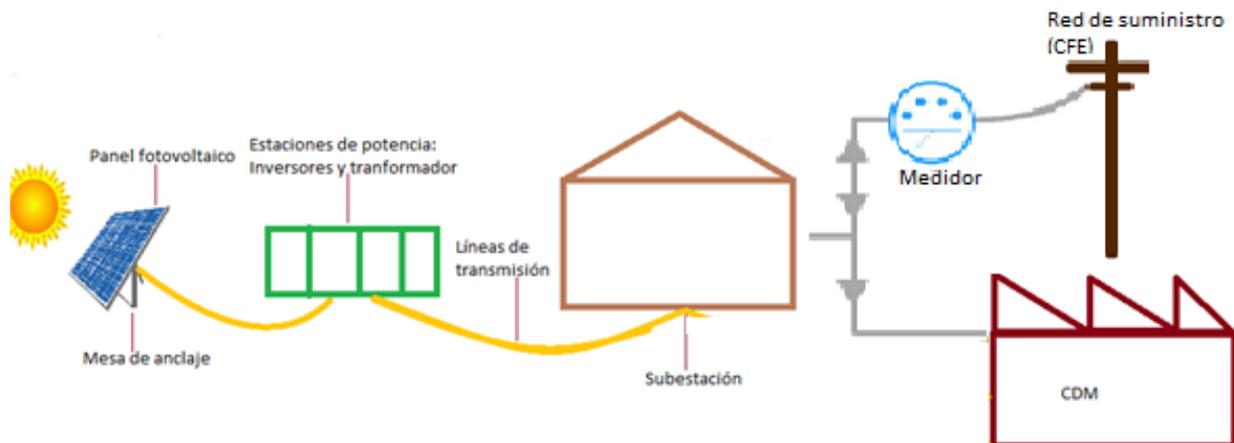


Figura 19: Layout de paneles fotovoltaicos

## 6.6 Diagrama de bloques de panel fotovoltaico propuesto

Un diagrama de bloques es útil para conocer las áreas a estudiar, en este caso se muestran los procedimientos que serán considerados para el análisis de ciclo de vida, así de manera gráfica queda explicado este procedimiento.

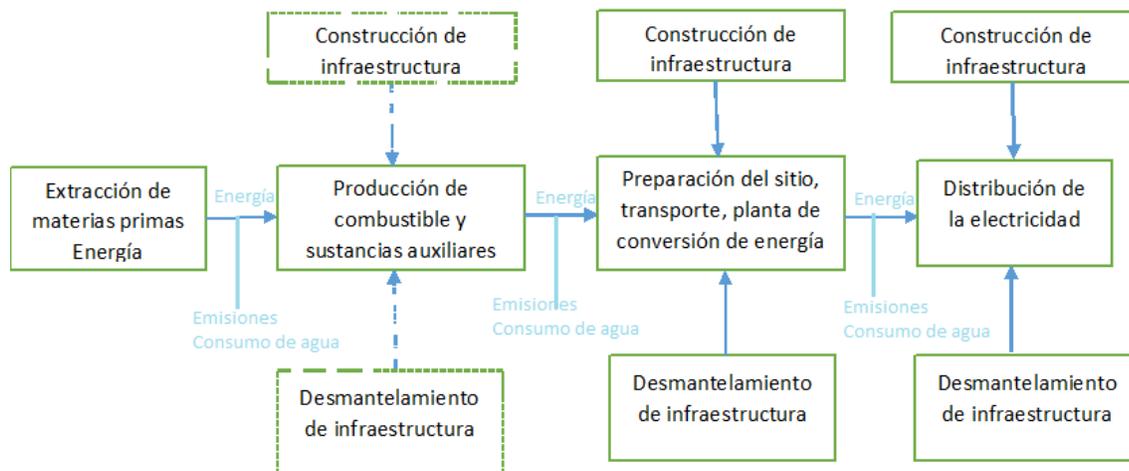


Figura 20: Diagrama de bloques del panel fotovoltaico

## 6.7 Inventario de Ciclo de Vida de panel fotovoltaico propuesto

Como se muestra en la figura 25, el análisis de ciclo de vida del panel se divide en tres partes para la generación de energía y en una parte para su distribución, las cuales contienen los límites de sistema:

- Aguas arriba: Producción de sustancias auxiliares para mantenimiento.
- Núcleo infraestructura: Consumo de materias primas para los equipos, fabricación de los equipos instalados, consumo de materias primas para la construcción de la central, uso de maquinaria en obra, gestión de residuos de obra, agua consumida en obra, transporte asociado a equipos y materiales, reinversiones de equipos y mantenimiento correctivo y desmantelamiento de la central y gestión de los residuos.
- Núcleo proceso: Generación de energía, viajes de mantenimiento y gestión de residuos de operación
- Aguas abajo: Distribución de la energía.

Para la instalación de una planta fotovoltaica es necesario instalar varias estructuras, esto para que tenga un buen funcionamiento, en la tabla 3 se muestra el inventario de la celda fotovoltaica elegida, que es la PS315P-24/T de CONERMEX. El total generado se refiere al total de unidades que se utilizan para producir 1KWh mientras que el total distribuido se refiere al total de unidades que se utilizan para distribuir 1KWh.

Tabla 3: Inventario del panel fotovoltaico, [38].

Recursos materiales no renovables						
Material	Unidad	Aguas arriba	Núcleo proceso	Núcleo infraestructura	Total generado	Total distribuido
Gravilla	Kg	5.430E-07	7.941E-06	7.951E-03	7.959E-03	7.972E-03
Calcita	Kg	1.477E-07	3.328E-06	1.236E-03	1.240E-03	1.243E-03
Ganga, bauxita	Kg	2.342E-07	1.844E-07	1.147E-03	1.147E-03	1.152E-03
Hierro	Kg	1.631E-07	7.928E-06	7.266E-04	7.347E-04	7.405E-04
Cloruro sódico	Kg	5.407E-07	8.087E-08	2.664E-04	2.670E-04	2.675E-04
Arcilla, sin especificar	Kg	4.391E-08	4.689E-07	2.236E-04	2.241E-04	2.246E-04
Fluorita	Kg	4.265E-10	9.849E-09	1.144E-04	1.144E-04	1.145E-04
Aluminio	Kg	2.205E-08	1.737E-08	1.080E-04	1.080E-04	1.085E-04
Dolomita	Kg	3.011E-10	2.580E-08	6.524E-05	6.526E-05	6.534E-05
Níquel	Kg	3.873E-09	2.471E-07	4.395E-05	4.420E-05	4.456E-05

<b>Zinc</b>	Kg	7.161E-10	2.874E-09	3.236E-05	3.237E-05	3.262E-05
<b>Fósforo</b>	Kg	5.736E-10	2.076E-09	1.907E-05	1.907E-05	1.909E-05
<b>Cromo</b>	Kg	1.586E-09	8.011E-08	1.807E-05	1.815E-05	1.829E-05
<b>Plomo</b>	Kg	3.977E-10	1.596E-09	1.798E-05	1.798E-05	1.812E-05
<b>Otros recursos no renovables</b>	Kg	2.602E-08	9.486E-07	1.534E-04	1.544E-04	1.551E-04
<b>Recursos materiales renovables</b>						
<b>Madera</b>	Kg	6.454E-08	5.848E-07	3.081E-04	3.088E-04	3.095E-04
<b>Recursos energéticos no renovables</b>						
<b>Carbón</b>	MJ	1.928E-05	2.180E-04	1.041E-01	3.095E-04	3.095E-04
<b>Lignito</b>	MJ	5.134E-06	3.455E-05	8.809E-03	3.095E-04	3.095E-04
<b>Petróleo</b>	MJ	1.124E-04	6.940E-03	5.057E-02	3.095E-04	3.095E-04
<b>Gas natural</b>	MJ	1.436E-05	3.849E-04	4.736E-02	4.776E-02	4.789E-02
<b>Nuclear</b>	MJ	8.917E-06	6.979E-05	1.621E-02	1.629E-02	1.634E-02
<b>Recursos energéticos renovables</b>						
<b>Energía hidroeléctrica</b>	MJ	3.111E-06	2.471E-05	1.276E-02	1.278E-02	1.282E-02
<b>Energía de biomasa</b>	MJ	1.193E-06	1.095E-05	5.668E-03	5.680E-03	5.694E-03
<b>Energía eólica</b>	MJ	5.397E-07	3.845E-06	1.593E-03	1.597E-03	1.601E-03
<b>Energía solar</b>	MJ	2.688E-09	4.512E-08	3.045E-05	3.050E-05	3.053E-05
<b>Recursos de origen reciclado</b>						
<b>Acero</b>	Kg	--	--	3.328E-04	3.328E-04	3.359E-04
<b>Aluminio</b>	Kg	--	--	2.910E-04	2.910E-04	2.923E-04

## 7. Requerimientos de instalación y mantenimiento de aerogeneradores

En este capítulo se estudiará la opción de los aerogeneradores, que como ya se mencionó anteriormente son los encargados de convertir la energía eólica en energía eléctrica. También se explicará los diferentes tipos y configuraciones que estos pueden tener, además se abordara el tema de las condiciones y el equipo que se necesita para instalar los aerogeneradores. Finalmente se muestra el inventario de ciclo de vida.

Para la selección del aerogenerador se seguirán los siguientes pasos, estos para asegurar que la selección sea la más adecuada.

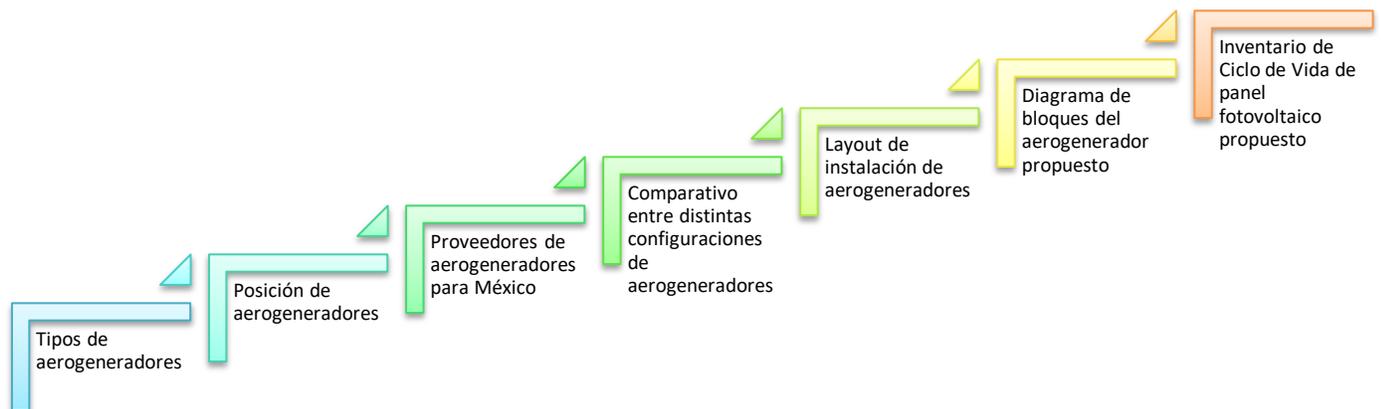


Figura 21: Diagrama de los pasos a seguir para la selección del aerogenerador

### 7.1 Tipos de aerogeneradores

Existe una gran variedad de aerogeneradores, dependiendo del uso que se le dé es el que se utilizará, dentro de las clasificaciones más generales se encuentran las siguientes:

- Por tamaño
- Por orientación [39]

En la tabla 4 se muestra la clasificación por tamaño, esta clasificación se refiere a la potencia que puede ser entregada, entre más grande el aerogenerador más potencia se puede recabar.

Tabla 4: Clasificación por tamaño de aerogenerador, [39].

Tipo	Subtipo	Potencia [KW]	Diámetro [m]
<b>Pequeños</b>	Micro	1 - 10	1.5
	Mini	1- 10	3
	Tamaño casero	1- 10	10
<b>Medianos</b>		10 - 500	10 - 50
<b>Grandes</b>		1500 - 3000	50 – 100

Otra clasificación es la que se muestra en la tabla 5, en donde los aerogeneradores se clasifican por el tipo de orientación de sus aspas, además de algunas características propias de cada tipo.

Tabla 5: Clasificación por orientación de aspas, [39].

Tipo	Subtipos	Ventajas	Desventajas
<b>Horizontales</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden transformar la energía cinética del viento en un 70%</li> <li>Pueden ser construidos a mayores escalas</li> <li>Pueden utilizar al máximo la fuerza de arrastre</li> <li>Son altamente comerciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requieren flujos de viento constante</li> <li>Presenta problemas por las fuerzas giroscópicas en el rotor, para cambiar su orientación con la dirección del viento</li> </ul>
<b>Verticales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pequeños</li> <li>Savonius</li> <li>Darrieus</li> <li>Híbrido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son omnidireccionales</li> <li>Costos de mantenimiento bajos</li> <li>Menos pérdidas en la transmisión</li> <li>Sistemas híbridos no requieren sistema de freno, aprovechando así al máximo la velocidad del viento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vientos lentos/ escasos por estar a nivel de suelo</li> <li>Difícil colocar un sistema que regule la velocidad cuando hay grandes vientos</li> <li>No se hacen en gran escala</li> </ul>

## 7.2 Posición de aerogeneradores

Al igual que los paneles fotovoltaicos, los aerogeneradores necesitan tener una posición determinada para tener un máximo aprovechamiento de la energía del viento. De

acuerdo con lo investigado, si se tiene un aerogenerador con aspas horizontales este debe de ser colocado en forma que el eje de las aspas quede en forma perpendicular a la corriente de viento, por lo que se debe saber en qué dirección son las corrientes de viento de mayor velocidad. En cambio para colocar los aerogeneradores de aspas verticales no es necesario conocer la dirección del viento, ya que sus aspas pueden moverse en cualquier dirección.

En este trabajo se considera trabajar con aerogeneradores de aspas horizontales, ya que como se menciona en la tabla 4 se hacen en gran escala y son más comerciales que los verticales, además, aprovechan de mejor manera los vientos de gran velocidad. Por lo anterior es necesario conocer la posición en la que van a ir los aerogeneradores y para esto es necesario saber la dirección de las corrientes de aire de la Ciudad de México.

Según la estadista Windfinder la mayor parte del año en la Ciudad de México el viento se dirige hacia el noroeste este, esto se muestra en la figura 27, además esta misma página estadista muestra que la dirección media del viento al año en la Ciudad de México son  $67^\circ$ [40], con esta información es posible conocer la posición en la que deben ir colocados los aerogeneradores.

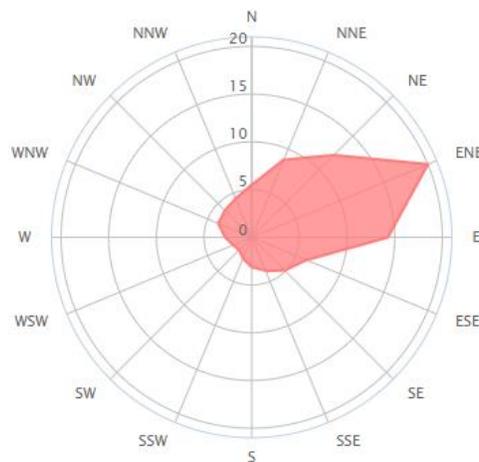


Figura 22: Distribución de la dirección del viento en la ciudad del México  
Fuente: WindFinder [40]

Por lo anterior las aspas del aerogenerador deben de ir en el mismo sentido que el viento, que es noroeste este, así se asegura que la energía recabada por este sea la máxima posible.

### 7.3 Proveedores y costos en México

En este apartado se mostrarán algunos de los modelos de aerogeneradores que se venden en México y sus costos, de estos se elijará uno para utilizarlo como referencia en el análisis de ciclo de vida.

En la tabla 6, se muestra la relación de proveedores, costos y características de aerogeneradores.

Tabla 6: Clasificación por orientación de aspas, [41].

Modelo	Marca	Potencia	Costo	Otras características
<b>Air Breeze</b>	Enalmex	40 KWh/mes a 5.8 m/s	USD 1577.40	Aspas de fibras de carbón Cuerpo de aluminio. Regulador integrado para el cargado de las baterías Protección electrónica para controlar el voltaje y las RPM. Libre de mantenimiento. Solo dos partes en movimiento. Freno de las aspas automático que reduce la turbina a modo silencioso cuando las baterías están completamente cargadas, lo cual extiende la vida de los baleros.
<b>Air 40</b>	Enalmex	40 KWh/mes a 5.8 m/s	USD 1244.10	De fácil instalación, con opción a instalación en el techo. Aspas de fibras de carbón Cuerpo de aluminio. Regulador integrado para el cargado de las baterías Protección electrónica para controlar el voltaje y las RPM. Libre de mantenimiento. Solo dos partes en movimiento. Freno de las aspas automático que reduce la turbina a modo silencioso cuando las baterías están completamente cargadas, lo cual extiende la vida de los baleros. Modo seguro en vientos fuertes – Automáticamente reduce la velocidad de la turbina en vientos potencialmente dañinos y reduce el ruido. Operación silenciosa
<b>Air 30</b>	Enalmex	30 KWh/mes a 5.8 m/s	USD 1244.10	Opción a instalación en el techo. Aspas de fibras de carbón Cuerpo de aluminio.

				<p>Regulador integrado para el cargado de las baterías</p> <p>Protección electrónica para controlar el voltaje y las RPM.</p> <p>Libre de mantenimiento. Solo dos partes en movimiento.</p> <p>Freno de las aspas automático que reduce la turbina a modo silencioso cuando las baterías están completamente cargadas, lo cual extiende la vida de los baleros.</p> <p>Modo seguro en vientos</p> <p>Operación silenciosa</p>
--	--	--	--	---

### 7.4 Comparación entre distintas configuraciones de aerogeneradores

Existen dos tipos de clasificaciones de instalación: instalación autónoma e instalación conectada a la red. Mientras que la instalación autónoma proporciona la energía directamente al lugar donde se instala y utiliza una batería, la instalación conectada a la red proporciona la energía, vendiendo o entregándola, al organismo encargado de la gestión de energía en el país, en este caso a CFE. En este apartado se compararán dos configuraciones de instalación de aerogeneradores. La primera se encuentra instalada dentro de la facultad de ingeniería y la segunda afuera, como en una central eólica.

#### Configuración dentro del anexo de ingeniería

Esta configuración tiene la ventaja de no tener cables de transmisión demasiados largos, así habrá menos pérdidas por este motivo, además de que los aerogeneradores ya tienen la opción de ponerlos en techos y se ahorraría en la estructura.

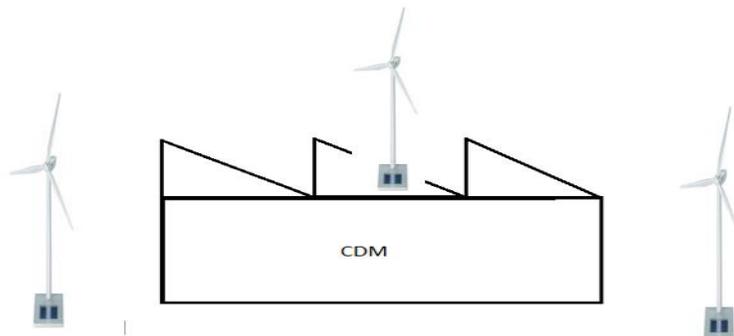


Figura 23: Aerogeneradores situados cerca del CDM

#### Configuración fuera de la facultad

Esta configuración tiene la ventaja de que se puede obtener un espacio y así incrementar la potencia de la planta, mientras que en la facultad es imposible colocar estos tipos de aerogeneradores.

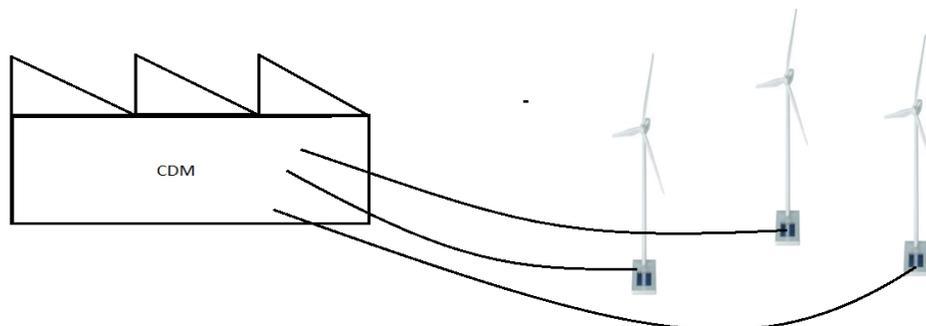


Figura 24: Central fotovoltaica fuera de la facultad de ingeniería

La configuración seleccionada es la de fuera de la facultad, ya que los aerogeneradores tienen grandes diámetros y su instalación en la facultad podría ser complicada.

### 7.5 Layout de instalación de aerogeneradores

A continuación en la figura 30 se muestra un layout de cómo sería la instalación de los aerogeneradores, ya con las etapas que se necesitan para el suministro de energía eólica. La energía eólica es transformada en electricidad por los paneles fotovoltaicos de la planta en corriente continua, la corriente continua (DC) es transformada en corriente alterna (AC) por los inversores, luego los transformadores elevan el voltaje de baja tensión a media tensión, para luego en la subestación, elevar el voltaje de media a alta tensión. Se decidió una configuración conectada a la red, ya que en esta no se hace uso de baterías ni regulador, ahorrándose el impacto ambiental que estos generarían.

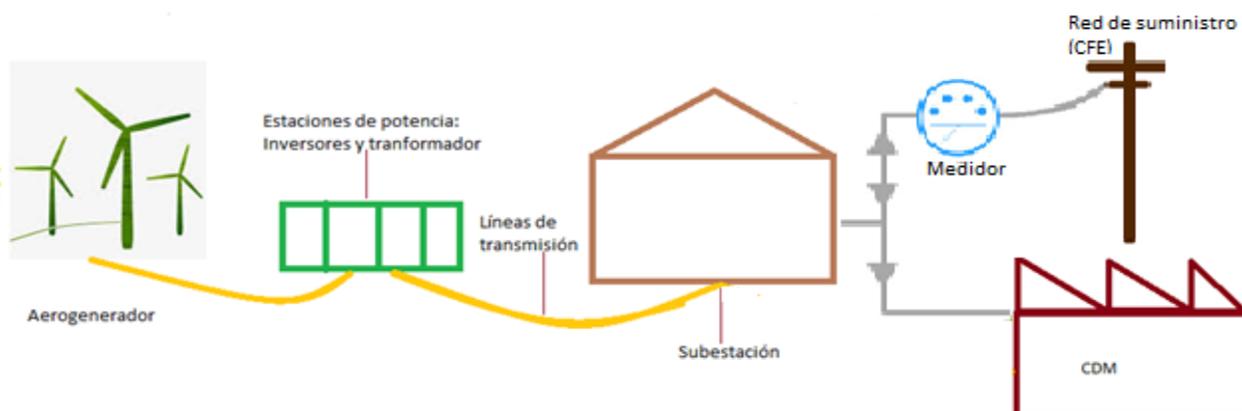


Figura 25: Layout de aerogeneradores

## 7.6 Diagrama de bloques de sistema de aerogeneradores propuesto

De igual forma, para los aerogeneradores se utilizara el mismo modelo que para los paneles fotovoltaicos, así en la figura 31 se muestran los bloques que son considerados para el análisis de ciclo de vida de un aerogenerador.

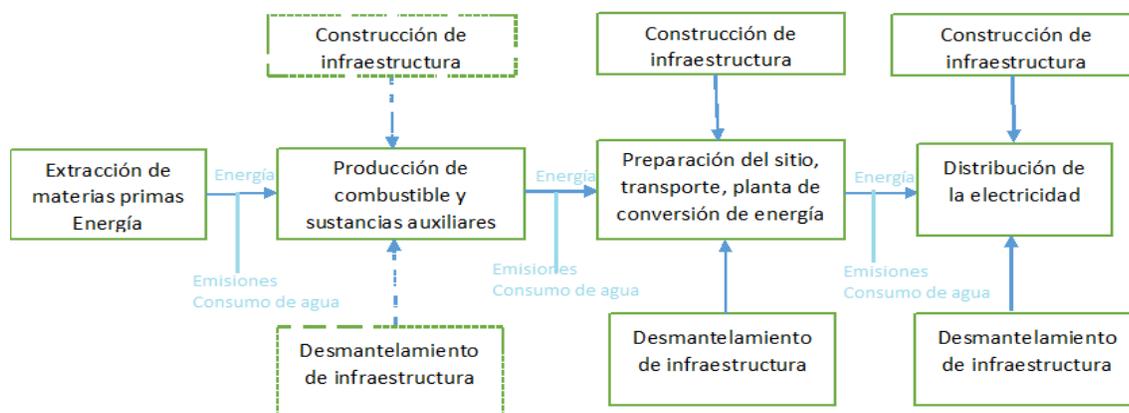


Figura 26: Diagrama de bloques del aerogenerador

## 7.7 Inventario de ciclo de Vida del sistema de aerogeneradores propuesto

Como se muestra en la figura 31, el análisis de ciclo de vida del aerogenerador se divide en tres partes para la generación de energía y en una parte para su distribución, las cuales contienen los límites de sistema:

- Aguas arriba: Producción de sustancias auxiliares para mantenimiento.
- Núcleo infraestructura: Consumo de materias primas para los equipos, fabricación de los equipos instalados, consumo de materias primas para la construcción de la central, uso de maquinaria en obra, gestión de residuos de obra, agua consumida en obra, transporte asociado a equipos y materiales, reinversiones de equipos y mantenimiento correctivo y desmantelamiento de la central y gestión de los residuos.
- Núcleo proceso: Generación de energía, viajes de mantenimiento y gestión de residuos de operación
- Aguas abajo: Distribución de la energía.

El aerogenerador seleccionado es Air 40, el cual debe de tener una estructura que lo soporte, así como más aditivos para su instalación y mantenimiento. A continuación se

muestra la tabla 7 el inventario de este aerogenerador, el total generado se refiere al total de unidades que se utilizan para producir 1KWh mientras que el total distribuido se refiere al total de unidades que se utilizan para distribuir 1KWh.

Tabla 7: Inventario del aerogenerador Air 40, [42].

<b>Recursos materiales no renovables</b>			
Material	Unidad	Total generado	Total distribuido
Gravilla	g	4.666E+01	4.798E+01
Hierro	g	3.003E+00	3.198E+00
Calcita	g	2.093E+00	2.194E+00
Arcilla	g	6.970E-01	7.425E-01
Níquel	g	3.029E-01	3.122E-01
Cloruro sódico	g	1.628E-01	1.716E-01
Cromo	g	1.246E-01	1.280E-01
Magnesita	g	5.501E-02	5.654E-02
Colemanita	g	3.303E-02	6.505E-02
Otros recursos no renovables	g	1.241E-01	1.630E-01
<b>Recursos materiales renovables</b>			
Madera	m3	7.326E-02	8.143E-02
<b>Recursos energéticos no renovables</b>			
Nuclear	MJ	2.515E-02	2.691E-02
Petróleo	MJ	6.390E-02	6.750E-02
Lignito	MJ	8.141E-03	8.760E-03
Carbón duro	MJ	6.193E-02	6.634E-02
Gas natural	MJ	4.367E-02	4.578E-02
<b>Recursos energéticos renovables</b>			
Energía hidroeléctrica	MJ	9.039E-03	1.023E-02
Energía de biomasa	MJ	1.425E-03	1.566E-03
Energía eólica	MJ	8.923E-04	9.222E-04
Energía solar	MJ	5.360E-02	5.502E-02
<b>Recursos de origen reciclado</b>			
Aluminio	g	1.221E-02	1.254E-02
Cobre	g	8.462E-03	8.687E-03
Acero	g	1.515E+00	1.555E+00

## **8. Análisis de ciclo de vida comparativo, situación actual, panel solar y aerogenerador seleccionado**

En este capítulo se sentarán las bases para el análisis de ciclo de vida, las cuales son de gran importancia para conocer los límites y los resultados que se obtendrán de este estudio

### **8.1 Objetivo de ACV**

Realizar un análisis de ciclo vida para tener elementos de comparación entre tres tipos de generación de energía (eólica, solar, convencional) y así seleccionar la opción que de acuerdo a las necesidades sea la mejor.

### **8.2 Alcances**

- Comparar las emisiones de dióxido de carbono, del consumo de agua y energía de las distintas formas de generar energía eléctrica (eólica, solar y convencional).
- Conocer las emisiones de dióxido de carbono de la producción de algunos de los materiales que se utilizan en el CDM.
- Evaluar impactos
- Seleccionar la opción que menos impactos ambientales genera y proponerla como solución a este trabajo

### **8.3 Unidad Funcional**

La unidad funcional considerada en este estudio será 1 KWh, ya que esta unidad es la generada por una celda o un aerogenerador y es la que es considerada por los EPD en sus estudios de Análisis de Ciclo de Vida, además la unidad de 1 KWh es la más utilizada para los estudios que se relacionan con Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la generación de energía eléctrica. Con esta unidad funcional definida se propone un tiempo de 25 años, ya que este es el tiempo de vida tanto de un aerogenerador como de una celda fotovoltaica.

### **8.4 Metodología seleccionada**

Para este tema es necesario conocer el inventario y la unidad funcional de los sistemas de energía renovable, panel fotovoltaico y aerogenerador, esto para tener un punto de comparación con el uso de energía convencional. Para conocer los efectos que producen un panel fotovoltaico o un aerogenerador se hará uso de una declaración de

producto ambiental (EPD, por sus siglas en inglés). Brevemente, un EPD es un documento que comunica información verificada, transparente y comparable sobre el impacto ambiental de los productos durante el ciclo de vida. Así, la Internacional EPD® System es un programa global para las declaraciones ambientales basados en la norma ISO 14025 y EN 15804 [43].

Los EPD utilizados para este estudio son los siguientes:

- Electricidad generada en central fotovoltaica: El Romero Solar 196 MW [38]
- Electricity from: “Los Lirios” 48 MW. On-shore Wind [42]

Para el análisis de ciclo de vida de la generación de energía de manera convencional se hará uso del software CES EduPack, en el cual es necesario conocer, como ya se mencionó anteriormente, los materiales con los que trabaja cada máquina, esto se conocerá con los manuales de prácticas de laboratorios. También es importante saber cuánto material se maquina al año para tener un resultado anual.

### 8.5 Evaluación de impacto de ciclo de vida comparativo

Las categorías de impacto seleccionadas a evaluar se muestran en la tabla 8, estas categorías fueron elegidas por que se relacionan con la situación actual de la Ciudad de México.

Tabla 8: Categorías de impacto a evaluar

Categoría de impacto	Categoría	Unidad de la categoría	Factor de caracterización
Cambio climático	CC	Kg (CO2 al aire)	Potencial de calentamiento global
Agotamiento de agua	AA	L (agua)	Potencia de agotamiento de agua

Estas categorías son de gran importancia de estudiar, ya que la Ciudad de México se caracteriza por ser una ciudad muy contaminada y es que al año emite aproximadamente 25 mil toneladas de CO2 eq. Además, la Ciudad de México tiene un gran problema de falta de agua, así que al evaluar estas categorías se puede tener una visión para solucionar estos dos problemas.

## 9. Resultados

En este capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos de la investigación. En primer lugar se darán los datos obtenidos de las condiciones meteorológicas de México y Ciudad de México para así conocer la cantidad de energía que pueden aprovechar los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores. Posteriormente se hará un análisis del consumo energético del edificio y de ese consumo total se podrá obtener el consumo que se obtendrá de las energías renovables. Finalmente, se mostrarán los análisis de ciclo de vida de las diferentes fuentes de energía eléctrica estudiadas, se comenzará con el ACV de la energía convencional, siguiéndolo con el ACV de los paneles fotovoltaicos, terminando con el ACV de los aerogeneradores.

### 9.1 Condiciones meteorológicas en la zona de Ciudad Universitaria

Los datos fueron recabados del Instituto de geofísica de la UNAM, de páginas web de SNM y de la página. A continuación se mostraran los datos de irradiación solar y de corrientes de aire

#### Irradiación solar

La irradiación solar varía en cada mes del año, los meses con mayor índice de radiación solar son abril, mayo, junio y julio, con una radiación de aproximadamente 6 KWh/m<sup>2</sup>. En la tabla 9 se muestran los datos promedios de la radiación en México, Ciudad de México y Ciudad Universitaria.

Tabla 9: Radiación en México

<b>México</b>	<b>5.5 KWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Ciudad de México</b>	<b>5 KWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Ciudad Universitaria</b>	<b>5 KWh/m<sup>2</sup></b>

Para poder aprovechar la energía solar es recomendable que el lugar en donde sean instalados los paneles solares tenga al menos una irradiación solar de 5 KWh/m<sup>2</sup>, por los datos de la tabla anterior se puede decir que CU es un buen lugar para colocar paneles fotovoltaicos.

#### Corriente de aire

Las corrientes de aires varían en cada mes del año, los meses con mayor velocidad en corrientes de aire son mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, siendo agosto con

el mayor índice de corrientes de aire tanto en México como en CDMX y CU. En la tabla 10 se muestran los datos promedios de corriente de aire para México, Ciudad de México y Ciudad Universitaria.

Tabla 10: Corrientes de aire en México

<b>México</b>	<b>6.3 m/s</b>
<b>Ciudad de México</b>	<b>5.6 m/s</b>
<b>Ciudad Universitaria</b>	<b>5.2 m/s</b>

Las anteriores corrientes de aire son consideradas como un buen potencial de recursos, ya que para los aerogeneradores es recomendable que estos trabajen con corrientes de al menos 5 m/s, lo que significa que la zona de CU tiene condiciones aprovechables para aerogeneradores y así generar energía eléctrica.

## 9.2 Lectura de potencias nominales

Para la lectura de potencias nominales se buscó en algunos casos la hoja de datos de los equipos, ya que la mayoría de las veces estos equipos no tenían placa o la placa ya no se distinguía. A continuación en las tablas 11, 12, 13, 14, 15 y 16 se mostrarán tablas con los equipos de cada área y sus respectivas lecturas:

Tabla 11: Lecturas de potencia de los equipos del área 1

Área 1					
Metalografía			Baño		
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Lámpara de 48 W	27	48	Lámpara	2	48
Horno para tratamientos térmicos	1	1300	Microscopia electrónica		
Horno para tratamientos térmicos Caisa	1	1650	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Horno para tratamientos térmicos Lindberg	1	1500	Microscopio de fuerza atómica	1	1500
Horno para tratamientos térmicos Kintel	1	1450	Microscopio electrónico de barrido	1	1700
Maquina cortadora Abrasimet 2	1	65	Impresora Epson	1	120
Computadora de escritorio Dell	10	60	Lámpara	4	48
Microscopio metalográfico invertido	1	80	Computadora Dell	3	60
Microscopio metalográfico no invertido	1	80			
Pulidora Buehler LTD	1	65			

Desbastador Surfmet 1	1	65
Pulidora Mecapol 4 B	1	65
Esmeril de banco Dinamo modelo 507	1	38
Electropulidora Electromet 4	1	79
Maquina cortadora Isomet 1000	1	50
Prensa de montaje automática Buehler Simplimet 2000	1	67
Campana de extracción	1	100

Tabla 12: Lecturas de potencia de los equipos del área 2

Área 2					
Lab. De mediciones mecánicas			Lab. De automatización		
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Lámpara de 48 W	32	48	Mesa neumática	10	780
Horno para tratamientos térmicos	1	180	Bomba hidráulica	1	120
Aire acondicionado Samsung	2	300	Lámpara de 48W	14	48
Durómetro Brinell Karl Frank GMBH	1	289	Computadora Dell	13	60
Máquina universal de pruebas Instron	1	1800			
Computadora de escritorio	1	60			
Impresora Epson LQ 1070	1	190			
Durómetro Rockwell Mitutoyo	1	890			
Estereoscopio	1	79			
Microdurometro Vickers	1	1000			

Tabla 13: Lecturas de potencia de los equipos del área 3

Área 3					
Manufactura asistida por computadora			O 006		
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Lámparas de 48 W	25	48	Proyector	1	80
Computadoras HP	14	60	Computadoras HP	20	60
Emco compact 5 CNC	5	1000	Lámparas	12	48
Emco TM02	3	1200	Detector de huella Zksoftwarej	2	36
Emco URN 120	3	2000	Laboratorio de mecatrónica		

Ventilador	1	80	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Impresora 3D	1	900	Proyector	1	80
Torno CNC Emco Turn 242	1	1800	Detector de huella Zksoftwarej	2	36
Fresadora CNC Emco VNC 300	1	1750	Lámparas	12	48
Fresadora CNC Hass VF1	1	1650	Generador de funciones Gwinstek GFG-8219A	18	230
Fresadora CNC Chiron FZ 12 S	1	1300	Osciloscopio Gwinstek GDS-820C	18	510
Fresadora CNC Emco LS 140	1	1900	Fuente de poder Gwinstek GPS-2303	18	470
Proyector	1	80			

Tabla 14: Lecturas de potencia de los equipos del área 4

Área 4					
O 002			Lámparas	30	48
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Regulador Industronic	1	280
Computadora	1	60	Cámara de pruebas de corrosión SilverFog	1	400
Detector de huella Zksoftwarej	2	36	Refrigerador	1	700
Proyector	1	80	Maquina cortadora Isomet 1000	1	140
Lámparas	16	48	Prensa de montaje en caliente automática Metapress A	1	490
O 003			Pulidora Ecomet 3	1	590
Equipo	Número de equipos	Potencia	Pulidora Buehler 250	1	590
Computadoras HP	20	60	Detector de huella Zksoftwarej	2	36
Proyector	1	80	Prestamos de equipo		
Lámparas	30	48	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Aire acondicionado	1	300	Computadora	1	60
O 004			Lámparas	3	48
Equipo	Número de	Potencia	Fundición		

		equipos				
Computadoras HP	14	60	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	
Proyector	1	80	Motor	1	200	
Lámparas	15	48	Regulador	1	330	
Aire acondicionado	1	300	Lámparas	4	48	
Detector de huella Zksoftwarej	2	36	Horno de fundición de aluminio Emison A25	1	10000	
Lab. De recubrimiento			Soldadura con oxiacetilénica			
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	
Computadora	1	60	Lámparas	2	48	

Tabla 15: Lecturas de potencia de los equipos del área 5

Área 5					
Lab. De diseño mecánico			Soldadura		
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Tornos	10	890	Soldaduras de arco	2	590
Fresadoras	3	780	Lámparas	4	48
Soldadura de punto	3	560	Soldaduras de arco	13	270
Esmeriles	10	110	Oficina 1		
Taladros de banco	3	590	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Inyección de plásticos			Lámparas	2	48
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]	Oficina 2		
Inyector de plástico	1	3000	Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
			Lámparas	2	48

Tabla 16: Lecturas de potencia de los equipos del área 6

Área 6		
CDM Planta alta		
Equipo	Número de equipos	Potencia [W]
Lámparas	108	48

Proyector	3	80
Computadora	23	60
Detector de huella Zksoftwarej	6	36

Con los datos obtenidos en estas tablas y con horarios de uso de los equipos se puede obtener la estimación del consumo anual del CDM, en el siguiente apartado se muestran estos resultados.

### 9.3 Consumo energético anual del Centro de Diseño Mecánico

De acuerdo con los datos recabados de las máquinas y de los horarios proporcionados por la DIMEI se obtuvo la tabla 17, que muestra el consumo energético anual de cada máquina y al final se obtiene el total anual. Estos resultados se obtuvieron con la potencia nominal de los equipos

*Tabla 17: Consumo energético anual del CDM, obtenido a partir de las lecturas de potencia nominal*

Equipo	Número de equipos en CDM	Potencia consumida [W]	Horas de funcionamiento al año [h]	Potencia consumida en un año [Wh]
Aire acondicionado Samsung	4	300	3600	4320000
Bomba hidráulica	1	129	40	5160
Cámara de pruebas de corrosión SilverFog	1	400	4	1600
Campana de extracción	1	100	4	400
Computadora de escritorio Dell	60	230	6480	89424000
Controlador numérico computacional de la Fresadora emco F1-CNC	1	1800	5	9000
Controlador numérico computacional del Torno emco compact 5 CNC	1	900	5	4500
Desbastador Surfmet 1	1	65	9	585
Detector de huella Zksoftwarej	30	36	100	108000
Durómetro Brinell Karl Frank GMBH	1	289	20	5780
Durómetro Rockwell Mitutoyo	1	890	20	17800
Electropulidora Electromet 4	1	79	4	316
EmcoTurn 120P	3	2000	20	120000

Esmeril	13	110	20	28600
Esmeril de banco Dinamo modelo 507	31	38	20	23560
Estereoscopio	1	79	5	395
Fresadora CNC Emco LS 140	1	1800	20	36000
Fresadora CNC Chiron FZ 12 S	1	1900	20	38000
Fresadora CNC Emco VNC 300	1	1300	20	26000
Fresadora CNC Hass VF1	1	1780	20	35600
Fresadora emco F1-CNC	1	1650	20	33000
Fresadoras	3	560	20	33600
Fuente de poder Gwinstek GPS-2303	18	470	50	423000
Generador de funciones Gwinstek GFG-8219A	18	230	50	207000
Horno para fundición de aluminio Emison A25	1	1000	20	20000
Horno para tratamientos térmicos	1	1300	20	26000
Horno para tratamientos térmicos Caisa	1	1650	3	4950
Horno para tratamientos térmicos Kintel	1	1450	4	5800
Horno para tratamientos térmicos Lindberg	1	1500	4	6000
Impresora 3D dimension sst	1	900	20	18000
Impresora Epson	1	120	8	960
Impresora Epson LQ 1070	1	190	20	3800
Inyector de plástico Demag ergotech pro 50-270	1	15000	15	225000
Lámpara de 48 W	309	48	4608	68345856
Laminadora	1	2200	40	88000
Maquina cortadora Abrasimet 2	1	3000	3	9000
Maquina cortadora Isomet 1000	1	50	4	200
Maquina cortadora Isomet 1000	1	140	3	420

Máquina universal de pruebas Instron	1	1800	20	36000
Mesa neumática	10	1000	40	400000
Microdurometro Vickers	1	100	20	2000
Microscopio de fuerza atómica	1	1500	4	6000
Microscopio electrónico de barrido	1	1700	8	13600
Microscopio metalográfico invertido	1	80	8	640
Microscopio metalográfico no invertido	1	80	8	640
Motor	1	200	20	4000
Osciloscopio Gwinstek GDS-820C	18	510	50	459000
Prensa de montaje automática Buehler Simplimet 2000	1	67	8	536
Prensa de montaje en caliente automática Metapress A	1	490	3	1470
Proyector	20	80	3000	4800000
Pulidora Buehler 250	1	590	3	1770
Pulidora Buehler LTD	1	65	9	585
Pulidora Ecomet 3	1	590	3	1770
Pulidora Mecapol 4 B	1	65	9	585
Refrigerador	1	700	1	700
Regulador Emison	1	330	20	6600
Regulador Industronic	1	330	10	3300
Soldadura de arco Harris	13	270	10	35100
Soldadura de arco Miller MM 252	2	590	10	11800
Soldadura de punto	3	560	13	21840
Taladro de banco	10	890	18	160200
Torno	10	590	20	118000
Torno CNC Emco Turn 242	1	1650	20	33000
Torno emco compact 5 CNC	5	1000	20	100000
Torno emcoTronic TM02	3	1200	20	72000

Potencia anual consumida

169.903 [MWh]

Otra forma de obtener un aproximado del consumo energético anual de CDM es utilizando los resultados del software CES Edupack, el cual muestra resultados de consumo de energía por cada kilogramos de material maquinado. De este programa sólo se pudieron obtener datos del torno, fresadora, torno CNC, fresadora CNC, fundición, laminadora y de la inyectora de plásticos. Como este software da datos de energía consumida por kilogramo de material en KJ/Kg es necesario convertirla en KWh, por lo que se utilizó la ecuación de conversión de energía J a KWh, la cual es la siguiente:

$$1KWh = 3.6 \times 10^6 J$$

Esta ecuación equivale a la energía producida o consumida por una potencia de un kilowatt durante 1 hora, así teniendo la energía utilizada en cada proceso y con la ecuación anterior se obtiene la potencia consumida en 1 hora. También es necesario conocer los materiales más utilizados y tener un aproximado de la cantidad que es maquinada anualmente, estos aproximados se obtuvieron con los manuales de prácticas de los diferentes laboratorios y preguntándoles a los encargados de los laboratorios de manufactura, estos resultados se muestran en la tabla 18. Finalmente en la tabla 19 se muestran los resultados del consumo energético anual total del CDM con resultados del software CES Edupack.

Tabla 18: Potencia consumida por tipo de maquinado, datos obtenidos del software CES Edupack

Tipo de maquinado	Material	Gasto de energía por Kg de material [MJ/Kg]	Potencia consumida en 1 hora [KWh/Kg]	Kilogramos de material maquinado al año [Kg]	Potencia consumida al año [KWh]
<b>Fresado mecánico</b>	Aluminio 6061 T6	1.41	0.39	30	11.75
<b>Torneado mecánico</b>	Aluminio 6061 T6	1.41	0.39	30	11.75
<b>Fresado CNC</b>	Aluminio 7075 T6	8.1	2.25	50	112.5
<b>Torneado CNC</b>	Aluminio 6061 T6	9.6	2.66	40	106.66
<b>Desbaste</b>	Acero de bajo contenido de carbono	39.6	11	15	165
	Acero martensítico	39	10.83	15	162.5
<b>Laminado</b>	Aluminio 6061 T6	12.4	3.44	20	68.88

	Latón	14.2	3.94	20	78.88
<b>Inyección de plásticos</b>	ABS	6	1.66	15	25
	LDPE	6.1	1.69	15	25.41
	HDPE	6.3	1.75	5	8.75
	PLA	5.9	1.63	5	8.19
	PP	6.14	1.70	5	8.52
<b>Fundición</b>	Aluminio 6061 T6	8.588	2.38	15	35.78
	Acero de bajo contenido de carbono	11.45	3.18	5	15.90
<b>Total</b>					<b>845.519444</b>

Del total que se muestra en la tabla 17, que es 169.903 [MWh] se le resta la parte de máquinas de torno, torno CNC, fresadora, fresadora CNC, esmeril, laminadora, horno de fundición, e inyectora de plásticos, ya que ese resultado será sustituido por el obtenido con ayuda del software.

Tabla 19: Potencia anual consumida utilizando el software CES Edupack

<b>Potencia consumida anual obtenida con lecturas nominales</b>	169.903 [MWh]	Potencia anual consumida utilizando CES Edupack  $169.903 \text{ [MWh]} - 1.04386 \text{ [MWh]} + 0.8455b \text{ [MWh]} =$ <b>169.70464 [MWh]</b>
<b>Potencia consumida de las maquinas obtenida con lecturas nominales</b>	1.04386 [MWh]	
<b>Potencia consumida de las maquinas obtenida con el software CES Edupack</b>	0.8455 [MWh]	

Como se puede observar en la tabla 19, el resultado no varía en gran manera con el obtenido solo utilizando las potencias nominales, la diferencia es de 198.36 [KW], para este estudio se utiliza el obtenido con ayuda del software CES Edupack, ya que es el que muestra resultados dependiendo de los materiales utilizados. Así los siguientes resultados se obtendrán tomando en cuenta que el consumo energético anual del CDM es de 169.70464 [MWh].

## 9.4 Análisis de ciclo de vida de energía convencional usada en el Centro de Diseño Mecánico

CES Edupack también da resultados de la huella de carbono que deja cada maquinado con diferentes materiales, más los resultados obtenidos del software CES EduPack no vienen de un mix eléctrico definido y en este estudio es importante que estos datos sean compatibles con el mix eléctrico de México, por lo que es necesario conocerlo. De acuerdo con el Banco Mundial el mix eléctrico de México es el siguiente:

Tabla 20: Mix energético de México,

Mix energético de México		
Fuente	Consumo de energía [PJ]	Porcentaje [%]
Carbón	316.593	11.011
Gas natural	1705.25	59.309
Geoenergía	127.426	4.432
Hidroenergía	114.652	3.988
Energía solar, eólica y biogás	44.173	1.536
Nucleoenergía	113.219	3.938
Diésel	30.78	1.071
Combustóleo	312.369	10.864
Bagazo de caña	65.455	2.277
Coque de petróleo	38.539	1.340
Gas licuado	2.301	0.080
Otros	4.45	0.155
<b>Total</b>	<b>2875.207</b>	<b>100.000</b>

De acuerdo con el mix energético se obtiene el factor de emisión, este es emitido cada año por la SEMARNAT y la SENER, de acuerdo con estas secretarías el factor de emisión del 2017 fue de:

**0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> eq. / MWh**

Lo anterior es igual a 0.582 kg de CO<sub>2</sub> eq. por cada KWh, este dato es el que se utiliza para comparar con los respectivos de la energía solar y eólica.

De acuerdo con un artículo publicado en el 2008, se necesitan 95 L de agua para producir 1 KWh de energía eléctrica [44], así que este dato se ocupará para obtener el consumo de agua con la producción de energía de manera convencional. En la tabla 21 se muestra la emisión de CO<sub>2</sub> eq. por cada KWh producido con energía convencional, de acuerdo con el mix eléctrico de México, claro que es el mismo que es emitido por la SENER y el agotamiento de agua.

Tabla 21: Resultados del ACV para generar un KWh con energía convencional

Categoría de impacto	Valor	Unidad de la categoría
Cambio climático	0.582	Kg (CO2 eq. al aire)
Agotamiento de agua	95	L

Ahora se procede a obtener el total de emisión de CO2 eq. y el agotamiento de agua por el consumo anual energético del CDM, lo cual se obtiene multiplicando el factor de emisión por los KWh que se necesitan en el CDM anualmente, este resultado se muestra en la tabla 22.

Tabla 22: Emisión anual de CO2 eq. en el CDM por consumo energético

Factor de emisión	Potencia anual consumida [KWh]	Impacto ambiental
0.582 kg de CO2 eq. / KWh	169704.64	98768.1 Kg de CO2 eq.
95 L	169704.64	16121940.8 L

## 9.5 Análisis de ciclo de vida de paneles solares

Es importante mencionar que en este estudio se consideró solamente el panel fotovoltaico, además de elegir un sistema conectado a la red por lo que no se considera el uso de batería y reguladores de energía.

Para este y el siguiente subtema es importante conocer la energía eléctrica generada con energía renovable que se suministrará al CDM, como ya se explicó el 40% de la energía suministrada en el CDM será de energías renovables, así el 40% de 169704.64 [KWh] es 67881.856 [KWh] o bien 67.881 [MWh].

Como el análisis de ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos se obtuvo con los EPD, sólo se buscó las categorías de impacto que interesan al estudio y los resultados obtenidos en el ACV para generar 1KWh con paneles solares fotovoltaicos se muestran en la tabla 23.

Tabla 23: Resultados de ACV de instalación de paneles solares fotovoltaicos

Categoría de impacto	Valor	Unidad de la categoría
Cambio climático	0.04	Kg (CO2 eq. al aire)
Agotamiento de agua	57	L (agua)

Así, la emisión total se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 24: Emisión de CO2 utilizando paneles solares

<b>Emisión de CO2 por paneles solares fotovoltaicos</b>	<b>Emisión CO2 del 60% de energía eléctrica generada convencionalmente</b>	<b>Emisión de CO2 con el 60% de energía eléctrica generada convencionalmente + el 40% de energía eléctrica generada con paneles</b>
2734.959 Kg de CO2 eq.	59260.86 kg de CO2 eq.	61995.82 Kg de CO2 eq.

## 9.6 Análisis de ciclo de vida de aerogeneradores

De igual manera que en el caso de la energía solar, aquí solo se considera al aerogenerador en un sistema conectado a la red. Como el análisis de ciclo de vida de los aerogeneradores se obtuvo con los EPD, sólo se buscó las categorías de impacto que interesan al estudio y los resultados obtenidos en el ACV para generar 1KWh con aerogeneradores se muestran en la tabla 25.

Tabla 25: Resultados de ACV de instalación de aerogeneradores

Categoría de impacto	Valor	Unidad de la categoría
Cambio climático	0.06187	Kg (CO2 eq. al aire)
Agotamiento de agua	62	L (agua)

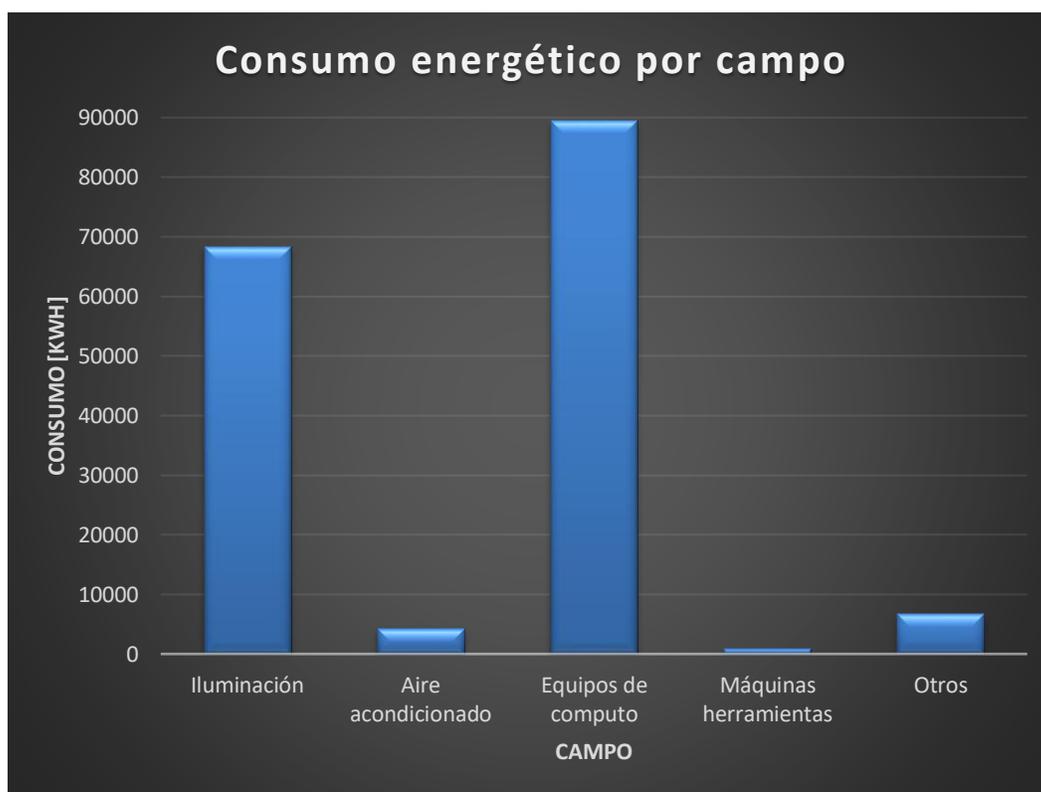
Así, la emisión total se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26: Emisión de CO2 utilizando aerogeneradores

<b>Emisión de CO2 por aerogeneradores</b>	<b>Emisión CO2 del 60% de energía eléctrica generada convencionalmente</b>	<b>Emisión de CO2 con el 60% de energía eléctrica generada convencionalmente + el 40% de energía eléctrica generada con aerogeneradores</b>
1804.97 Kg de CO2 eq.	59260.86 kg de CO2 eq.	61065.838 Kg de CO2 eq.

## 10. Análisis de resultados

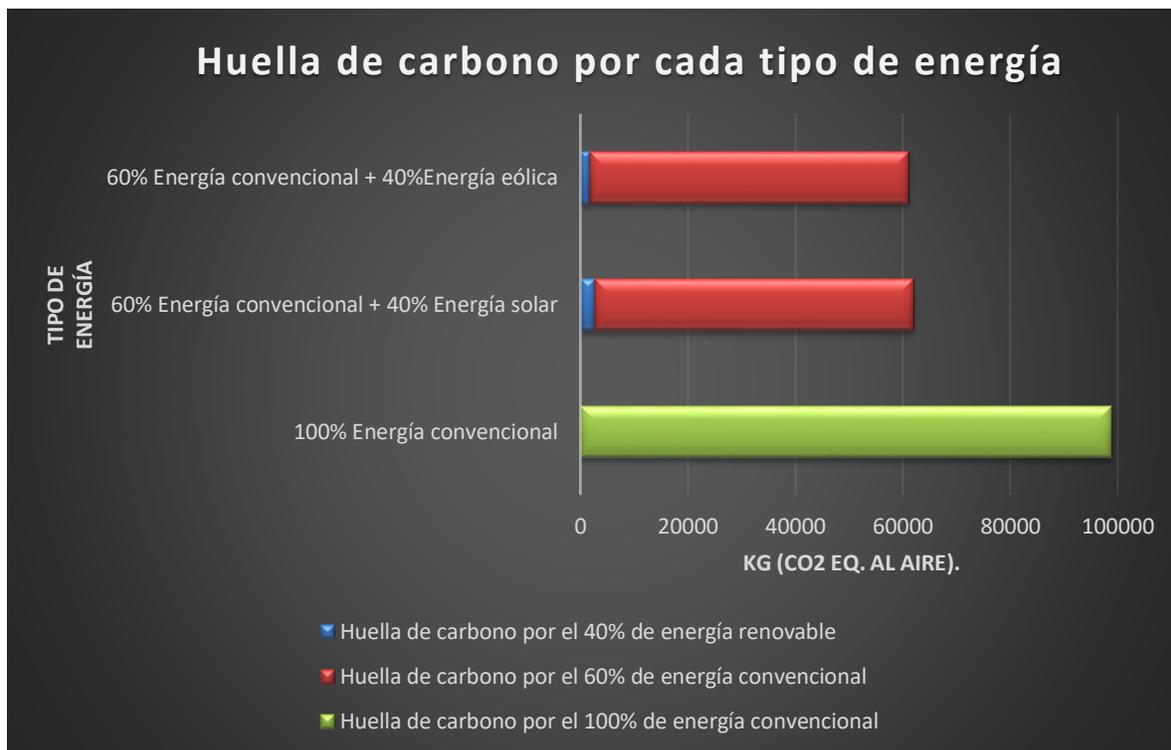
Es este apartado se van a analizar los resultados obtenidos de anteriormente, con ayuda de gráficas se van a comparar para dar un mejor análisis. En primer lugar es importante analizar en qué parte hay mayor consumo de energía, viendo la tabla 17 se puede dividir el consumo en 5 campos que son: iluminación, aire acondicionado, equipos de cómputo, maquinas-herramientas y otros. En la gráfica 1 se observa la gran diferencia de consumo de energéticos que se da en los equipos del CDM.



Gráfica 1: Consumo energético por zona

La gráfica 1 muestra que el mayor consumo se da en los equipos de cómputo (computadoras e impresoras), seguido por la iluminación del CDM, estos equipos tienen un mayor consumo ya que todo el año están en uso, los equipos de cómputo consumen más energía incluso que las otras zonas juntas, sería interesante estudiar la manera de reducir el consumo tanto en equipos de cómputo e iluminación.

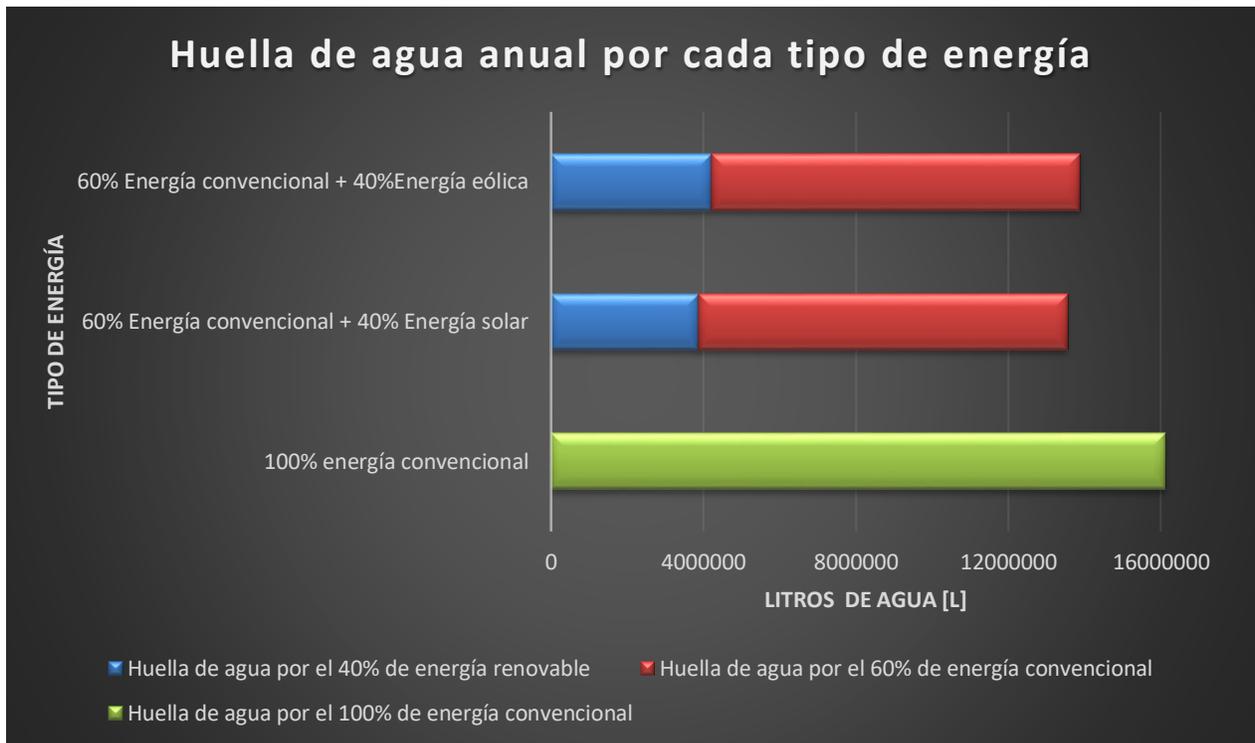
Otro análisis importante es el de la huella de carbono que deja tanto la energía convencional como la energía convencional con energía renovable, a continuación en la gráfica 2 se muestra esta comparación.



*Gráfica 2: Huella de carbono por cada tipo de energía*

En la gráfica 2 se muestra la diferencia entre las tres opciones, claramente se observa que al utilizar energía renovable es posible emitir menor cantidad de CO<sub>2</sub> al ambiente, en el caso de la energía eólica son 37702.27 kg de CO<sub>2</sub> menos al ambiente y en el caso de la solar son 36772.281 Kg de CO<sub>2</sub> menos al ambiente, las cuales son cantidades nada despreciables y que podrían ayudar a reducir la contaminación en la Ciudad de México. Entre la energía solar y la eólica hay 929.989 Kg de CO<sub>2</sub> de diferencia, siendo la eólica la energía que menos CO<sub>2</sub> eq. emite al ambiente. Para este estudio la energía eólica es la más conveniente, más no se puede decir que es la ideal, ya que depende de muchos más factores, como lo son económicos, disposición de las celdas fotovoltaicas, disposición del lugar para colocarlas, entre otros.

Otra comparación pertinente es el uso de agua, la cual mostrará la diferencia entre las distintas propuestas. En la gráfica tres se muestra el consumo anual de agua al utilizar el 40% de energía renovable (solar y eólica) más el uso del 60% de energía convencional y por solo usar energía convencional.



*Gráfica 3: Consumo de agua*

En la gráfica 3 se muestra el gran consumo de agua, tanto para generar el 40% de la energía consumida en el CDM con energías renovables con el 60% de energía convencional y el consumo de agua sólo utilizando energía generada de manera convencional. Es impresionante el consumo de agua necesario para producir energía supuestamente limpia, son aproximadamente 4 millones de litros de agua los que se utilizan tanto para extraer materias primas, construir, transportar y reciclar celdas fotovoltaicas y aerogeneradores. Aunque utilizando energías renovables se ahorrarían más de 2 millones de litros de agua al año, lo cual es importante por la crisis de agua que vive en el mundo.

Este análisis muestra que a nivel de impacto ambiental, la energía eólica tiene una menor huella de carbono que la energía solar, más la energía solar tiene una menor huella de agua que la energía eólica. Analizando los factores de instalación, mantenimiento e impacto ambiental se puede decir que la energía solar es la opción que se recomienda para utilizar en el Centro de Diseño Mecánico, esto por dos razones principales; la primera es que la irradiación solar en CU es más constante durante todo el año que las corrientes de viento y la segunda es que la instalación de paneles fotovoltaicos en México está más desarrollada que la de aerogeneradores.

## 11. Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados al inicio de este trabajo se concluye que se logró tener dos propuestas para generar energía eléctrica en el CDM, de tal forma que se pueda reducir en cierto modo la emisión de CO<sub>2</sub> eq. al medio ambiente, esto siguiendo la meta que se tiene de manera nacional para el 2021, que es generar al menos el 35% de energía eléctrica con fuentes renovables. Así, este trabajo mostró que es posible reducir hasta un 40% las emisiones generadas en el CDM si se utilizan paneles fotovoltaicos o aerogeneradores para generar 40% de energía eléctrica.

De las opciones que se mostraron, resulto que la energía eólica tiene una menor emisión de CO<sub>2</sub> aunque consume mayor cantidad de agua ocupar aerogeneradores que celdas fotovoltaicas, además los requerimientos de instalación y de mantenimiento para un panel fotovoltaico son menores que para poner aerogeneradores, ya que por su altura se necesitan de estructuras con características y especificaciones tanto para sostenerlos como para no interferir con rutas de aves. También, se aprovecharía mejor la energía solar, ya que en la zona de CU la radiación solar aprovechable dura 5 horas a día aproximadamente durante todo el año, en cambio las corrientes en CU son muy variables y generalmente son de poca velocidad.

Este estudio también proporciono información del uso energético en el CDM, en promedio se consumen 464.944 [KWh] al día, y gran parte de este consumo es por parte de los equipos de cómputo e iluminación. Como se vio en la gráfica 1, más de tres cuartos del consumo total en el CDM es realizados por los equipos anteriormente mencionados, lo cual muestra varias áreas de oportunidad, una de estas es disminuir el uso de lámparas y aprovechar de mejor manera la luz del sol.

El análisis de ciclo de vida permitió tener tres opciones y visualizar cual es la que satisface mejor las necesidades planteadas, en este caso se buscó que se redujera la huella de carbono, de las tres la energía solar fue la mejor ya que se reducía un 40% la emisión de CO<sub>2</sub>. Más estos ACV también mostraron que el cualquier caso va a haber emisiones de gases contaminantes y consumo de agua y que sí, la energía solar y eólica no contaminan a la hora de producir energía más sí contaminan en el momento de la producción y reciclaje de paneles y aerogeneradores. Es importante mencionar que los ACV son herramientas que sirven para tomar decisiones, juntos con otros factores ya sean económicos, sociales, geográficos o políticos ayudan a tener una perspectiva más amplia para tomar la mejor decisión.

## 12. Bibliografía

- [1] R. Alexandri Rionda, L. Al. Muñoz Cano, L. G. Guerrero Gutiérrez, F. Rodríguez Bolaños, A. de los Á. Ubaldo Higuera, and A. L. Ramos Bautista, “Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030,” 2016.
- [2] WBG, “Consumo de energía procedente de combustibles fósiles,” 2015. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS>.
- [3] P. J. Coldwell, A. Ricardo, F. Quiroga, and F. Z. Reyes, “Reporte de Avance de Energías Limpias 2017,” 2017.
- [4] S. Pinto Pérez, “Análisis de ciclo de vida comparativo para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable y convencional,” UNAM, 2017.
- [5] E. Nehrenheim, *Introduction to Renewable Energy*. Elsevier Inc., 2018.
- [6] E. D. Trujillo, “Diseño de una instalación y alimentación eléctrica de un comedor industrial por medio de generación distribuida,” UNAM, 2012.
- [7] Schneider, “Soluciones de energía solar por segmentos.” [Online]. Available: <https://www.se.com/es/es/work/products/solar.jsp>.
- [8] J. S. Rodríguez Suárez *et al.*, “La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México,” 2017.
- [9] G. Ruíz, “¿CÓMO FUNCIONA UN AEROGENERADOR O TURBINA EÓLICA?,” *Energía eólica*, 2018. [Online]. Available: <https://erenovable.com/como-funciona-un-aerogenerador-o-turbina-eolica/>.
- [10] G. Florida Lagos, “Situación de la energía eólica e hidráulica en México,” UNAM, 2011.
- [11] ONU, “Objetivos de Desarrollo Sostenible,” 2016.
- [12] IRENA, “Trends in Renewable Energy Policies,” 2017. [Online]. Available: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>.
- [13] N. Kalkan *et al.*, “A renewable energy solution for Highfield Campus of University of Southampton,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 6, pp. 2940–2959, 2011.
- [14] D. Hasapis, N. Savvakis, T. Tsoutsos, K. Kalaitzakis, S. Psychis, and N. P. Nikolaidis, “Design of large scale prosuming in Universities: The solar energy vision of the TUC campus,” *Energy Build.*, vol. 141, pp. 39–55, 2017.
- [15] J. Lee, B. Chang, C. Aktas, and R. Gorthala, “Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England,” *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 452–464, 2016.
- [16] Y. Yoshida, Y. Shimoda, and T. Ohashi, “Strategies for a sustainable campus in Osaka University,” *Energy Build.*, vol. 147, pp. 1–8, 2017.
- [17] SENER, *Ley para aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética*. México, 2012, pp. 1–11.
- [18] SENER, *Ley general de cambio climático*. México, 2018, pp. 1–58.
- [19] Irena, “Capacidad de generación y generación de energía en México,” 2018. .
- [20] IRENA, “Trends in renewable energy in México,” 2017. [Online]. Available: <http://resourceirena.irena.org/gateway/countrySearch/?countryCode=MEX>.
- [21] C. Sheinbaum Pardo, S. Briceño Vilorio, A. Escobedo Izquierdo, and H. Juárez Modragón, “Inventario y escenarios de mitigación de GEI asociados con el

- consumo de energía en Ciudad Universitaria, UNAM,” 2012. .
- [22] UNAM, “Intalación de paneles fotovoltaicos, ENES Unidad León,” 2015. .
- [23] M. Nájera Corona, “Paneles fotovoltaicos en la alberca de CU,” 2016. .
- [24] J. Del Río, L. Navas, and L. Sánchez, “Análisis del ciclo de vida de un panel solar fotovoltaico empleado para la alimentación eléctrica de instalaciones de riego, comparando las metodologías ECO-Indicador 99 y EPS-2000,” p. 5, 2000.
- [25] International Organization for Standardization., “ISO 14044 Environmental Management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines . ISO. (2006).” p. 14044, 2006.
- [26] F. Hernández Padilla, “Análisis De Ciclo De Vida Como Herramienta De Decisión Para El Tratamiento De Agua Residual En America Latina Y El Caribe,” Univesidad Nacional Autoónoma de México, 2016.
- [27] T. A.-M. . Baumann H, “The Hitch Hiker’s Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application.,” no. 31027-01, p. 31027, 2004.
- [28] H. Mälkki and K. Alanne, “An overview of life cycle assessment (LCA) and research-based teaching in renewable and sustainable energy education,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2016, pp. 218–231, 2017.
- [29] H. E. Arvesen A, “Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: a review of present knowledge and research needs,” . *Renew Sustain Energy Rev*, no. 16, pp. 5994–6006, 2012.
- [30] F. Asdrubali, G. Baldinelli, F. D’Alessandro, and F. Scrucca, “Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: review and results harmonization,” *Renew Sustain Energy Rev*, no. 42, pp. 1113–22, 2015.
- [31] P. Bayer, L. Rybach, P. Blum, and R. Brauchler, “Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation,” *Renew Sustain Energy Rev*, no. 26, pp. 446–63, 2013.
- [32] A. Evans, V. Strezov, and T. Evans, “Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies,” *Renew Sustain Energy Rev*, no. 13, pp. 1082–8, 2009.
- [33] R. Turconi, A. Boldrin, and T. Astrup, “Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations,” *Renew Sustain Energy Rev*, no. 28, pp. 555–65, 2013.
- [34] C. M. Molina, “Análisis de ciclo de vida de casos de estudios de futuras centrales eléctricas en México,” 2013.
- [35] C. UNAM, “Types of Solar Cells,” 2016. .
- [36] NREL, “Research Cell Efficiency Records,” 2017. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/downloads/research-cell-efficiency-records>. [Accessed: 18-Sep-2018].
- [37] CONERMEX, “CONERMEX.” [Online]. Available: <https://www.conermex.com.mx/productos.html>.
- [38] Acciona, “Electricidad generada en central fotovoltaica: El Romero Solar 196 MW,” Chile, 2017.
- [39] S. Chávez Velázquez, “Diseño de un microaerogenerador de eje vertical,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- [40] WindFinder, “Estadísticas del viento y tiempo en la Ciudad de México,” 2018.

- [Online]. Available: [https://es.windfinder.com/windstatistics/mexico\\_city](https://es.windfinder.com/windstatistics/mexico_city).
- [41] ENALMEX, "ENALMEX." [Online]. Available: <https://enalmex.com/productos/aerogeneradores/>.
- [42] IBERDROLA, "Electricity from: 'Los Lirios' 48 MW. On-shore Wind," Huelva, 2018.
- [43] EPD, "El Sistema Internacional EPD®," 2018. .
- [44] W. D Jones, "How Much Water Does It Take to Make Electricity?," *IEEE*, 2008. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/energy/environment/how-much-water-does-it-take-to-make-electricity>.