



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA
ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS

**ANÁLISIS AMBIENTAL Y MARCO REGULATORIO EN GENERACIÓN HÍBRIDA
RENOVABLE: HIDROELÉCTRICA Y FOTOVOLTAICA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÍA

PRESENTA:
RAFAEL ENRIQUE BARBOSA ELIZALDE

TUTORES PRINCIPALES

DRA. ESCOBEDO IZQUIERDO MANUELA AZUCENA.
[Facultad de Ingeniería, UNAM](#)
MTRO. BELTRÁN MORA HÉCTOR ALEJANDRO.
[Facultad de Ingeniería, UNAM](#)

Ciudad Universitaria, CD. MX. octubre 2024.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“La única manera de hacer un gran trabajo es amar lo que haces”.

Steve Jobs.

“...Si el progreso es nuestro oficio... Que no ves que eres un puente entre el salvajismo y el modernismo, salvador el ingeniero, salvador de la humanidad... Yo pienso que ha llegado el tiempo de darle lugar a los espacios sin cemento... que nosotros los humanos no necesitamos más hidrocarburos.”

Rubén Albarrán. Trópico de Cáncer.

AGRADECIMIENTOS ACADEMICOS

También agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por las facilidades otorgadas por su beca que me permitió cumplir con expectativas en el desarrollo de mi tesis y concluir con mis estudios de posgrado en ingeniería de forma satisfactoria.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Quiero agradecer y dedicar este trabajo de tesis a mi madre **Blanca Rita Elizalde Barrón** por darme todo su amor y tiempo incondicionalmente, por su apoyo en mi arduo camino, y por ser la promotora de mis sueños, por su fe y confianza depositada en mí, por brindarme todas sus enseñanzas, inculcándome los valores y principios con los que al día de hoy me han formado. Te agradezco por ser la mejor amiga y estar presente en los momentos difíciles de mi vida, ayudándome a encontrar soluciones a los problemas que no lograría solucionar por mi propia cuenta.

¡Gracias, Mamá!

De igual forma agradezco a mis abuelos **María Luisa Barrón Cabrera** y **Antonio Melitón Elizalde Juárez** por concederme vivir y disfrutar la vida a su lado, les doy las gracias de todo corazón por cada día de mi vida por cuidarme y procurarme como uno más de sus hijos, por ser mis guías espirituales y darme los lineamientos para ser un buen hombre y en un futuro ser buen padre y esposo.

A mi hermano **Luis Daniel Barbosa Elizalde** por estar en toda mi trayectoria brindándome su apoyo y afecto.

Quiero expresar mi gratitud a **Juan Manuel Guzmán Pérez**, por motivarme a seguir siempre adelante, promoviendo la realización de mis sueños e incentivarme a fijarme metas y cumplirlas.

Doy gracias a mis padrinos **Elizabeth Soto Rubio** y **Marco Antonio Elizalde Barrón** por estar a mi lado procurando mi bienestar y apoyándome en cada decisión tomada, para cumplir mis metas y objetivos.

Deseo extender un sincero agradecimiento a mis tíos **Marcela**, **Daniel Elizalde Barrón** y **Juan Carlos Franco Oropeza**, por los consejos y la ayuda brindada ya que fueron parte importante en mi desarrollo personal.

A mis tutores la **Dra. M. Azucena Escobedo Izquierdo** y al **Mtro. Héctor A. Beltrán Mora**, agradezco cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier duda que me surgiera, agradeciéndole por la claridad y exactitud con la que me enseñaron, permitiéndome concluir de forma satisfactoria el desarrollo de mi tesis y de esta forma concluir mis estudios de posgrado de forma exitosa.

A la **Dra. Cecilia Martín Del Campo Márquez** porque durante su gestión como jefa del departamento de Energía, me permitió formar parte del equipo de trabajo de la Unidad de Planeación Energética, dándome el apoyo para realizar mi tesis y también por aceptar ser miembro del jurado de sinodales.

A la **Dra. Pamela Fran Nelson Edelstein** y al **Dr. Pablo Álvarez Watkins**, por compartir su conocimiento durante mi estancia en el posgrado para ser un mejor ingeniero y formando parte de mi jurado sinodales.

A los profesores, el **Dr. C.F. Youssef Sarkis Mobarak**, al **Mtro. Pedro Ignacio Rincón Gómez**, al **Dr. Abel Clemente Reyes** por sus conocimientos, confianza y formación para que lograra cumplir mis metas y objetivos en mi posgrado.

A mis jefes de la CFE al **Mtro. Wilmer Yosif Guerrero Raya** y al **Ing. José de Jesús Ruán Lizaola** por invitarme a colaborar con la CFE en la implementación y elaboración del proyecto para la primera central solar flotante en México.

De igual forma agradezco a la CFE y a todos los departamentos que me apoyaron, a la subdirección de Hidroeléctricas, Subdirección de Negocios no Regulados y a la Gerencia de Ingeniería Eléctrica junto a los ingenieros de estos departamentos como: **Mauricio Sosa Aguiluz, Liliana Carrillo Montalvo, Ollin Domínguez Sánchez, Aldo Flores Duarte y Isidro Martínez Rojas.**

A mis amigos **David Antonio Hernández Reyes, Monserrat Meza Ángeles, Ricardo Alejandro Flores Terrones y Ana Cristina Osorio Juárez** por brindarme su amistad y darme su apoyo en esta etapa del posgrado.

Gracias a Dios por ayudarme a terminar un ciclo maravilloso de mi vida, gracias por todo lo que me has dado.

Objetivo General.

- Analizar el marco regulatorio y ambiental que resulta aplicable en México, con el objetivo de aprobar la viabilidad técnica en el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos sobre cuerpos de agua que se encuentran almacenados en los embalses de las centrales hidroeléctricas de la CFE.

Objetivos Particulares.

- Establecer el estado del arte actual a nivel mundial en el que se encuentra la tecnología fotovoltaica flotante en la inclusión de sistemas de generación híbrida con las centrales hidroeléctricas.
- Identificar y analizar las principales obligaciones regulatorias que deben cumplirse en México para el desarrollo de los proyectos solares terrestres y flotantes, muy puntualmente: la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de Transición Energética.
- Identificar y analizar las principales obligaciones ambientales que deben cumplirse en México para el desarrollo de los proyectos solares terrestres y flotantes, muy puntualmente la Ley General de Cambio Climático, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental, y la Ley de Aguas Nacionales.
- Establecer las etapas de viabilidad técnica que se deben implementar para la generación híbrida renovable enfocándose a la hidroeléctrica y fotovoltaica, muy puntualmente para los sistemas fotovoltaicos flotantes.
- Indicar los factores que se deben considerar en las centrales hidroeléctricas para determinar la factibilidad de la implementación de los sistemas fotovoltaicos flotantes de modo que operen de forma híbrida.

Contenido

Acrónimos.	1
Glosario.	2
Ilustraciones.	5
Tablas.	8
Resumen.	10
Abstract.	11
Introducción.	12
1. Antecedentes de generación híbrida renovable.	13
1.1. Panorama mundial de la generación híbrida renovable: Hidroeléctrica y Fotovoltaica.	13
1.1.1. Avances en el desarrollo e instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes.	14
1.1.2. Panorama actual de la generación de sistemas fotovoltaicos flotantes a nivel Mundial.	19
1.1.3. Potencial de desarrollo de sistemas fotovoltaicos flotantes en México.	30
1.2. Antecedentes del aprovechamiento de la energía hidroeléctrica en México.	34
1.2.1. Panorama actual de la generación Hidroeléctrica en México.	35
1.3. Antecedentes del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en México.	39
1.3.1. Panorama actual de la generación Fotovoltaica en México.	41

2. Aspectos regulatorios para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos flotantes en México.	46
2.1. Marco regulatorio de la Industria Eléctrica.	47
2.2. Regulación aplicable a los sistemas de generación de energía limpia.	48
2.2.1. Ley de la Industria Eléctrica.	49
2.2.2. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.	49
2.2.3. Ley de Transición Energética.	49
2.2.4. Reglamento de la Ley de Transición Energética.	50
2.3. Participación en el Mercado Eléctrico Mayorista.	50
2.4. Permiso de Generación.	58
2.5. Obligaciones de los Generadores dentro de la Industria Eléctrica.	59
2.6. Cumplimiento del Código de Red.	64
2.6.1. Planeación.	64
2.6.2. Operación.	65
2.6.3. Interconexión.	67
2.6.4. Ciberseguridad.	68
3. Aspectos medioambientales para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos flotantes en México.	70
3.1. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) De SHARM EL SHEIJ - Noviembre de 2022.	71
3.2. Ley General de Cambio Climático.	73
3.3. Reglamento de la Ley General de Cambio Climático.	74
3.4. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	74

3.5. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.	74
3.6. Ley de Aguas Nacionales.	76
3.7. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (LAN).	77
3.8. Normas Oficiales Mexicanas y Criterios Ecológicos Asociados.	78
4. Etapas para la viabilidad técnica e inclusión de sistemas fotovoltaicos flotantes en Centrales Hidroeléctricas con base a los aspectos Regulatorios y Ambientales.	81
4.1. Marco Regulatorio y Normativo.	82
4.2. Implementación.	85
4.3. Operativo.	101
Conclusiones y Recomendaciones.	108
Anexo Único.	111
Referencias.	121

Acrónimos.

- **AFD:** Por sus siglas en francés “*Agence Française de Développement*”, en español Agencia Francesa de Desarrollo.
- **CAG:** Control Automático de Generación.
- **CAPEX:** Es el gasto que una empresa realiza en bienes de equipo y que genera beneficios para una compañía, bien sea a través de la adquisición de nuevos activos fijos, o bien a través de un aumento en el valor a los activos fijos ya existentes.
- **CdR:** Código de Red.
- **CEL:** Certificados de Energías Limpias.
- **CENACE:** Centro Nacional de Control de Energía.
- **CFE:** Comisión Federal de Electricidad.
- **C. H:** Central Hidroeléctrica.
- **CIL:** Contratos de Interconexión Legados.
- **CMNUCC:** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- **CONABIO:** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- **CONANP:** Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- **CONUEE:** Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
- **COP:** Por sus siglas en inglés “*Conference of the Parties*”, en español Conferencia de las Partes.
- **COPAR:** Costos y Parámetros de Referencia de Generación.
- **CRE:** Comisión Reguladora de Energía.
- **DACG:** Disposiciones Administrativas de carácter general.
- **DOF:** Diario Oficial de la Federación.
- **E.P.S:** Empresa Productiva Subsidiaria.
- **EVIS:** Evaluación de Impacto Social.
- **FiT:** Tarifa de Alimentación.
- **FPV:** Por sus siglas en inglés “*Floating Photo-Voltaic*”, en español Fotovoltaico Flotante.
- **GEI:** Gas de efecto invernadero.
- **HDPE:** Por sus siglas en inglés “*High Density Polyethylene*”, en español Polietileno de alta densidad.
- **IHA:** Por sus siglas en inglés “*International Hydroypower Association*”, en español Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica.
- **IRENA:** Por sus siglas en ingles “*International Renewable Energy Agency*” en español Agencia Internacional de Energías Renovables.
- **LFC:** Luz y Fuerza del Centro.
- **LIE:** Ley de la Industria Eléctrica.
- **LSPEE:** Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **LTE:** Ley de Transición Energética.
- **MIA:** Manifiesto de Impacto Ambiental.
- **MEM:** Mercado Eléctrico Mayorista.

- **MDA:** Mercado en Día en Adelanto.
- **MTR:** Mercado en Tiempo Real.
- **NAME:** Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias.
- **NAMINO:** Nivel de Aguas Mínimas de Operación.
- **NAMO:** Nivel de Aguas Máximas Ordinarias.
- **NDT:** Neutralidad de la Degradación de las Tierras.
- **NOM:** Normas Oficiales Mexicanas.
- **OPE:** Oficialía de Partes Electrónica.
- **O&M:** Operación y Mantenimiento.
- **PAMRNT:** Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista.
- **PIIRCE:** Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas.
- **POC:** Pruebas de Operación Comercial.
- **PM:** Participante del Mercado.
- **PML:** Precios Marginales Locales.
- **PRODESEN:** Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.
- **REI:** Red Eléctrica Inteligente.
- **RLIE:** Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.
- **RLTE:** Reglamento de la Ley de Transición Energética.
- **RGD:** Redes Generales de Distribución.
- **RNT:** Red Nacional de Transmisión.
- **SAE:** Sistemas de Almacenamiento de Energía.
- **SEMARNAT:** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- **SEN:** Sistema Eléctrico Nacional.
- **SENER:** Secretaría de Energía.
- **UCE:** Unidad de Central Eléctrica.

Glosario.

EL vocabulario fue extraído de diversas fuentes citadas al final de tu trabajo.

- **Antropogénico:** El concepto hace referencia a todo aquello que proviene o resulta de las actividades de los seres humanos modificando de múltiples maneras a su entorno, algunas son positivas, otras negativas y otras inocuas para el medioambiente.
- **Aprovechamiento sustentable:** La utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos.

- **Asequibilidad Energética:** Que puede ser alcanzable o conseguirse de una forma en la que se pueda comprar o pagar y tenga accesibilidad toda la población sin restricción alguna.
- **Cambio Climático:** Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.
- **Centrales Eléctrica:** Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten generar energía eléctrica y Productos Asociados.
- **Certificados de Energías Limpias:** Son títulos emitidos por la CRE que acreditan la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga.
- **Confiabilidad Energética:** Indicador de la capacidad que se tiene en el sistema de generación para abastecer la demanda en todo momento, cumpliendo con los requerimientos técnicos de calidad y suficiencia.
- **Condensador síncrono:** Los condensadores síncronos, son motores síncronos que no tienen ninguna carga conectada y que han sido utilizados en la red eléctrica para la regulación de tensión y de potencia reactiva en la red.
- **Contingencia Sencilla:** es un evento en el cual se presenta la salida de un elemento del Sistema Eléctrico Nacional (criterio N-1).
- **Curva de Capacidad de un generador síncrono:** Define un límite de potencia activa máxima suministrada por el generador, sin que la máquina pierda estabilidad y siga operando con seguridad.
- **Empresa Productiva Subsidiaria:** Son empresas productivas del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, como lo es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petróleos Mexicanos (Pemex).
- **Escenario:** es una modelización de una situación futura que responde “¿Qué pasa si?”
- **Escorrentía:** Es cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando este suceso ocurre, el agua fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega el agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada la lluvia.
- **Eutrofización:** El proceso que consiste en el enriquecimiento de nutrientes en el agua de lagos y embalses, provocando un exceso de nitrógeno y fósforo en el ecosistema acuático.
- **Fotovoltaico Flotante:** El término fotovoltaico flotante (FPV) puede utilizarse para referirse a cualquier tipo de sistema fotovoltaico instalado en masas de agua, como lagos, embalses, presas hidroeléctricas, balsas mineras, balsas industriales y de riego, balsas de tratamiento de aguas y lagunas costeras.
- **Generador (en términos de los Manuales de Operación - CENACE):** Titular de uno o varios permisos para generar electricidad en Centrales Eléctricas, o bien, titular de un contrato de Participante del Mercado que representa en el Mercado Eléctrico Mayorista a dichas centrales o, con la autorización de la CRE, a las Centrales Eléctricas ubicadas en el extranjero.
- **Horas Críticas:** Las Horas Críticas corresponden a las 100 horas que tuvieron el menor nivel de reservas de generación en el periodo identificado, acorde con lo

establecido en el Manual del Mercado para el Balance de Potencia.

- **Irrradiación solar:** Es el periodo en que la radiación solar calienta la superficie terrestre.
- **Manifestación de Impacto Ambiental:** El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.
- **Mantenimiento Correctivo:** Consiste en las actuaciones del servicio técnico en respuesta a avisos sobre el mal funcionamiento de algún equipo o proceso, el cual comprende un grupo de tareas de índole técnica cuyo propósito es corregir los fallos que acontecen en el funcionamiento de la maquinaria.
- **Mantenimiento Predictivo:** Es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo.
- **Mantenimiento Preventivo:** Es el acto de realizar actividades de mantenimiento programadas regularmente para ayudar a prevenir posibles fallos en el futuro. En pocas palabras, se trata de arreglar las cosas antes de que se rompan.
- **Nivel de Aguas (Mínimas de Operación y Máximas Ordinarias):** La operación de la presa se lleva a cabo entre el Nivel de Aguas Mínimas de Operación (**NAMINO**) y el **NAMO**, que es el máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas.
- **Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME):** Se refiere al nivel máximo que la presa puede almacenar sin que se derrame agua.
- **Nodo P:** Corresponde a uno o varios nodos de conectividad de la red y en él se modela una inyección o retiro físicos de energía. En cada NodoP se determina el precio de la energía para las liquidaciones financieras en el Mercado Eléctrico Mayorista.
- **Oferta de Venta:** La oferta en cantidad y ubicación que hacen los Participantes del Mercado para vender energía en el Mercado de Energía de Corto Plazo en términos de energía neta.
- **Ordenamiento ecológico:** El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.
- **Polietileno de alta densidad:** Es un polímero de alta densidad, que se obtiene por adición, es decir, sumando distintas unidades de etileno. Sus moléculas apenas presentan ramificaciones, lo que le confiere una densidad molecular considerable, que se traduce en una gran resistencia y dureza, así como una mayor tolerancia a las altas temperaturas.
- **Precios Marginales Locales:** Definidos como los precios de la energía eléctrica en NodosP en el Mercado en Tiempo Real, que son determinados en el Sistema Eléctrico Nacional.
- **Prontuario:** Resumen en que están anotadas varias cosas a fin de tenerlas presentes cuando se necesiten.
- **Prospectiva:** Es el conjunto de análisis y estudios realizados con el fin de explorar el futuro, el cual tiene como objetivo realizar un examen lo más exhaustivo posible de las opciones.

- **Regulación Económica:** Se refiere a las reglas relacionadas con aspectos de competencia, acceso a la red, determinación y asignación de costos eficientes, ejemplo: **Tarifas eléctricas**.
- **Regulación Medioambiental:** Se refiere a las reglas relacionadas con el impacto ambiental de los proyectos en el sector eléctrico (generación principalmente) sobre el medio ambiente.
- **Regulación Técnica:** Se refiere a las reglas relacionadas con el funcionamiento físico de los sistemas eléctricos de potencia. Abarca conceptos como frecuencia, tensión, estados operativos, límites de operación; ejemplo: **Código de Red**.
- **Reserva Operativa:** Es la suma de la **Reserva Rodante** más la **Reserva No Rodante**. La Reserva Operativa deberá asegurar que la Confiabilidad del SEN no se vea comprometida ante la ocurrencia de la Contingencia Sencilla más Severa.
- **Tarifa de Alimentación:** Es una herramienta política diseñada para promover la inversión en fuentes de energía renovable al proporcionar un precio garantizado por encima del precio de mercado para los productores, generalmente implican contratos a largo plazo, de 15 a 20 años y este tipo de herramienta son comunes en los Estados Unidos, en algunos otros países del mundo, particularmente en Alemania y Japón.
- **Trilema Energético:** Se refiere a la necesidad de encontrar un balance entre tres aspectos fundamentales: la seguridad energética, la sustentabilidad ambiental y la accesibilidad económica de la energía.

Ilustraciones.

Ilustración 1 a) Planta Fotovoltaica Flotante b) Planta Fotovoltaica Flotante en Central Hidroeléctrica. <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>

Ilustración 2 Módulos Fotovoltaicos de Tecnología. <https://www.iberdrola.com/innovacion/paneles-solares-bifaciales>

Ilustración 3 Sistemas de Flotación A) Puros; B) Metálicos; C) Membrana y esferas. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-mark>

Ilustración 4 Tipos de Anclajes en de las Celdas Fotovoltaicas. <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>

Ilustración 5 Potencial de capacidad FPV en todo el mundo basado en la superficie total disponible. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 6 Capacidad instalada en las naciones con tecnología FPV en 2018. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 7 Distribución de las centrales de *FPV* según su tamaño en 2018.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 8 Sistemas híbridos (*FPV* e hidroeléctricos). Proyectos completados, en construcción y en planeación.

[https://www.hydropower.org/publications/2023-world-hydropower-outlook#:~:text=The%20inaugural%202023%20Outlook%20sets,deliver%20against%20net%20zero%20targets.&text=Inside%20you%20will%20find%20key,of%20pumped%20storage%20\(PSH\)](https://www.hydropower.org/publications/2023-world-hydropower-outlook#:~:text=The%20inaugural%202023%20Outlook%20sets,deliver%20against%20net%20zero%20targets.&text=Inside%20you%20will%20find%20key,of%20pumped%20storage%20(PSH))

Ilustración 9 Sistema *FPV* (de 305 kWp de capacidad) en Goiás - Brasil.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 10 Instalación *FPV* (con una capacidad de 13.7 MWp) en la presa de Yamakura (Japón).

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 11 Sistema *FPV* (con 24 kWp de capacidad) en Miraflores, cerca del Canal de Panamá.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Ilustración 12 Sistema *FPV* (con 175 kWp de capacidad) en la bodega Far Niente del Valle de Napa, California.

<https://asesorautoconsumo.wordpress.com/2013/03/21/paneles-solares-flotantes-en-la-bodega-far-niente-del-valle-de-napa/>

Ilustración 13 Sistema *FPV* (con 220 kWp de capacidad) en la desembocadura del río Rabagão, en Montalegre - Portugal.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-ma>

Ilustración 14 Centrales Hidroeléctricas factibles para la integración de Sistemas *FPV*, pertenecientes a CFE y CONAGUA.

Ilustración 15 Ubicaciones de las 60 centrales hidroeléctricas de CFE.

Ilustración 16 Clasificación y características los tipos centrales hidroeléctricas.

Ilustración 17 Prospectiva de la evolución de las adiciones de capacidad y la capacidad instalada de tecnología hidroeléctrica en México, 2018-2032 (MW).

<https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>

Ilustración 18 Repotenciación del rotor del equipo turbo generador de una de las dos unidades de la Central Hidroeléctrica Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán).

Ilustración 19 Niveles de irradiación solar en México.

<https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>

Ilustración 20 Intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México (kWh/m²).

<https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>

Ilustración 21 Ubicación de las 63 Centrales Solares en Operación Comercial.

<https://www.pv-magazine-mexico.com/2019/12/03/crece-el-numero-de-centrales-fotovoltaicas-a-gran-escala-en-la-republica-mexicana/>

Ilustración 22 Prospectiva de la evolución de las adiciones de capacidad y la capacidad instalada de tecnología solar fotovoltaica y termosolar en México, 2018-2032 (MW).

<https://www.gob.mx/sener/documentos/prospect>

Ilustración 23 Central Fotovoltaica Puerto Peñasco.

<https://elpais.com/mexico/2023-02-20/lopez-obrador-inaugura-la-central-fotovoltaica-de-puerto-penasco-el-proyecto-verde-mas-ambicioso-de-su-administracion.html>

Ilustración 24 Centrales Fotovoltaicas pertenecientes a CFE.

Ilustración 25 Prelación Jerárquica del Marco regulatorio de la Industria Eléctrica en México.

Ilustración 26 Productos que se ofrecen en el MEM. <https://www.gob.mx/cenace/articulos/sabes-que-es-el-mercado-electrico-mayorista?idiom=es>

Ilustración 27 Procesos que debe realizar un Generador para iniciar operaciones en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Ilustración 28 Esquema del sistema de comunicaciones para la medición para liquidaciones, desde la Central Eléctrica hacia el Transportista A) y desde la Central Eléctrica hacia el Distribuidor B). [https://www.cenace.gob.mx/Docs/14 REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Req%20de%20TI%20y%20Comunicaciones%20para%20el%20SEN%20y%20el%20MEM%20\[DOF%2004-12-17\].pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/14%20REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Req%20de%20TI%20y%20Comunicaciones%20para%20el%20SEN%20y%20el%20MEM%20[DOF%2004-12-17].pdf)

Ilustración 29 Prelación de los usos del agua para la concesión y asignación de la explotación, aprovechamiento o uso de aguas nacionales.

Ilustración 30 Trilema Energético: Balance entre tres aspectos fundamentales: la seguridad energética, la sustentabilidad ambiental y la accesibilidad económica de la energía. <https://www.linkedin.com/pulse/el-trilema-de-la-energ%C3%ADa-equilibrando-sostenibilidad-y-malvin-delgado/?originalSubdomain=es>

Ilustración 31 Diagrama de los aspectos para conciliar un Sistema Fotovoltaico Flotante.

Ilustración 32 Fuentes renovables que reconoce el marco legal mexicano. <https://www.linkedin.com/groups/2913484/?highlightedUpdateUrn=urn%3Ali%3AgroupPost%3A2913484-7196863859305910272&q=highlightedFeedForGroups>

Ilustración 33 Esquema de relación que se tiene entre el marco regulatorio y el ambiental al momento de implementar un sistema fotovoltaico flotante.

Ilustración 34 Metodología de etapas de implementación de un sistema fotovoltaico flotante.

Ilustración 35 Categorías a considerar para la implementación de un sistema fotovoltaico flotante. <https://www.istockphoto.com/se/vektor/grekiska-eller-romerska-templet-kolumner-gm914067166-251597684>

Ilustración 36 Diagrama de criterios para considerar la factibilidad de una central hidroeléctrica para la integración de un sistema fotovoltaico flotante.

Ilustración 37 Matriz de elección de elementos para la implementación de un sistema fotovoltaico flotante. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/10/4034> y pág. iStock

Ilustración 38 Opciones que existen para sacar la energía del sistema fotovoltaico flotante. <https://www.nrgisland.com/floating-solar-2/> y pág. iStock

Ilustración 39 A. Diagrama de bloques Modelo 1 (Híbrida - Conjunta) B. Diagrama unifilar del Modelo 1 (Híbrida - Conjunta).

Ilustración 40 A. Diagrama unifilar del Modelo 2 (Híbrida – Alterna) B. Diagrama de bloques Modelo 2 (Híbrida – Alterna).

Ilustración 41 A. Diagrama de bloques Modelo 3 Sistemas Aislados B. Diagrama unifilar del Modelo 3 Sistemas Aislados.

Ilustración 42 Fotografía satelital central hidroeléctrica La Yesca mostrando diversas zonas de desprendimiento en el embalse.

Ilustración 43 Fotografía satelital central hidroeléctrica El Cajón mostrando zonas de preparación de sitio, como también el área que va abarcar el sistema fotovoltaico flotante y la ruta que tendría la línea de evacuación de energía.

Ilustración 44 Diagramas unifilares de los tres modelos: A. Híbrida – Conjunta B. Híbrida – Alterna C. Sistemas Aislados

Ilustración 45 Beneficios y desafíos de los sistemas fotovoltaicos flotantes.
<https://www.nrgisland.com/floating-solar-2/>

Ilustración 46 Oferta de venta de energía de una central hidroeléctrica de gran escala.

Ilustración 47 Oferta de venta de energía de una central mini hidroeléctrica.

Ilustración 48 Oferta de venta de energía de un parque fotovoltaico (Puerto Peñasco).

Ilustración 49 Cronograma del proceso para poner en operación una central fotovoltaica flotante.

Tablas.

Tabla 1 Ventajas e inconvenientes del diseño puramente flotante.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Tabla 2 Ventajas e inconvenientes del diseño de estructuras metálicas.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Tabla 3 Potencial fotovoltaico flotante, capacidad y generación de energía por continente sólo embalses y presas artificiales. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Tabla 4 Mecanismos de apoyo para los Sistemas Fotovoltáicos Flotantes (FPV).

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>

Tabla 5 Catálogo de Centrales Hidroeléctricas de la CFE y CONAGUA para la prefactibilidad de la instalación de Sistemas FPV.

Tabla 6 Generación neta en 2021 con base en energías limpias. <https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/pages/informes-anuales.aspx>

Tabla 7 Infraestructura de la generación por tipo de tecnología. <https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/pages/informes-anuales.aspx>

Tabla 8 Clasificación de una Central Eléctrica según su capacidad.
[https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENyMEM/\(DOF%202016-04-08%20CRE\)%20RES-151-2016%20DACG%20C3%B3digo%20de%20Red.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENyMEM/(DOF%202016-04-08%20CRE)%20RES-151-2016%20DACG%20C3%B3digo%20de%20Red.pdf)

Tabla 9 Factores relevantes relacionados con el Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica Nacional aplicable a los Sistemas Fotovoltaicos Flotantes.

Tabla 10 Factores relevantes relacionados con el Marco Ambiental de la Industria Eléctrica Nacional aplicable a los Sistemas Fotovoltaicos Flotantes.

Tabla 11 Pruebas a los flotadores.

Tabla 12 Pruebas de puesta en servicio a CH y fotovoltaicas.

Tabla 13 Requisitos funcionales para flotadores.

Tabla 14 Variables a considerar en la oferta de una central hidroeléctrica de gran escala.
https://www.cenace.gob.mx/DocsMEM/OpeMdo/OferComVen/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos%20de%20las%20Ofertas_Integrado.pdf

Resumen.

Las instalaciones solares fotovoltaicas flotantes (**FPV**) abren nuevas oportunidades para aumentar la capacidad de generación solar y especialmente ahora que la Organización de las Naciones Unidas (**ONU**) busca la transición energética con energías limpias y renovables estableciendo objetivos de desarrollo sustentable (**ODS**) con la intención de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (**GEI**) y así lograr las metas adquiridas por cada uno de los países en las estrategias *net zero emissions*.

Las posibilidades que otorgan los sistemas fotovoltaicos flotantes al momento de integrarlos con las centrales hidroeléctricas ya existentes en México y especialmente con las grandes centrales hidroeléctricas, éstas consistirán en que podrían funcionar con una mayor flexibilidad en la parte técnica y operativa. Entendiéndolo como que la capacidad solar puede utilizarse para aumentar la generación eléctrica y también puede ayudar a gestionar los periodos de escasez de agua en los embalses permitiendo que la central hidroeléctrica funcione en modo "pico" en lugar de "carga base". Así mismo la energía hidroeléctrica puede coadyuvar a los sistemas *FPV*, ya que estas pueden seguir la carga en tiempo real.

Como se puede apreciar a simple vista este tipo de tecnología presenta ciertas ventajas sobre los sistemas terrestres, como la utilización de la infraestructura de transmisión eléctrica existente en las centrales hidroeléctricas, una mayor eficiencia energética gracias a los efectos refrigerantes del agua y a la menor presencia de polvo, mejor calidad del agua gracias a la disminución del crecimiento de algas, disminución de la evaporación del agua acumulada en los embalses, entre otras cualidades.

Por otro lado, también se tiene que tener presente la normativa mexicana para llevar a cabo los proyectos de generación en México, por tanto, no debe ser excluyente al momento de realizar la instalación y puesta en operación de los sistemas fotovoltaicos flotantes, puesto que las Leyes, Normas Oficiales Mexicanas y Código de Red establecen los lineamientos necesarios que deben de cumplir cualquier tipo central generadora en los aspectos regulatorios y medioambientales.

Por ultimo los sistemas fotovoltaicos flotantes deben seguir una metodología para desarrollar los aspectos técnicos para integrarlo a las instalaciones de una central hidroeléctrica, por lo que es importante precisar las particularidades del proyecto, por tanto se tienen que definir en forma concreta y resumida las implicaciones del proyecto y los alcances del mismo.

Abstract.

Floating photovoltaic (**FPV**) installations open up new opportunities to increase solar generation capacity, especially now that the United Nations (UN) is pursuing an energy transition to clean and renewable energy by establishing Sustainable Development Goals (SDGs) aimed at reducing greenhouse gas (GHG) emissions and achieving the targets set by each country in their *net zero emissions* strategies.

The integration of floating photovoltaic systems with existing hydroelectric plants in Mexico, particularly large-scale hydroelectric plants, offers the potential for greater technical and operational flexibility. This means that solar capacity can be used to increase electricity generation and can also help manage periods of water scarcity in reservoirs, allowing the hydroelectric plant to operate in "peak" mode rather than "baseload" mode. Additionally, hydroelectric power can complement FPV systems, as they can follow real-time load demands.

As can be easily seen, this type of technology offers several advantages over land-based systems, such as the use of existing electrical transmission infrastructure at hydroelectric plants, greater energy efficiency due to the cooling effects of water and reduced dust presence, improved water quality due to decreased algae growth, reduced evaporation of water stored in reservoirs, among other benefits.

On the other hand, Mexican regulations must also be considered when carrying out generation projects in Mexico. Therefore, they should not be overlooked during the installation and operation of floating photovoltaic systems, as the Laws, Official Mexican Standards, and Grid Code set forth the necessary guidelines that any type of power plant must comply with regarding regulatory and environmental aspects.

Finally, floating photovoltaic systems must follow a methodology to develop the technical aspects for integration into a hydroelectric plant. It is important to specify the particularities of the project, so the project's implications and scope must be clearly and concisely defined.

Introducción.

El desarrollo de este proyecto de tesis para la obtención de grado de Maestro en Energía se enfocó en analizar los aspectos regulatorios y medio ambientales relacionados con la instalación de paneles solares flotantes sobre los cuerpos de agua almacenados en los embalses de las centrales hidroeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Este tipo de proyectos a nivel mundial se encuentran todavía en distintas etapas de desarrollo e implementación, por lo que para el caso de México estos proyectos resultan novedosos y atractivos dentro de la Industria Eléctrica como una forma de incrementar la participación de fuentes limpias dentro de la matriz de generación nacional. Este proyecto de tesis tiene como objetivo identificar las acciones necesarias en materia medioambiental y regulatoria para la implementación de paneles solares flotantes que complementen los trabajos realizados por la CFE dentro de sus proyectos relacionados con los Estudios de Prefactibilidad de Generación Fotovoltaica en Centrales Hidroeléctricas.

Debido a que en el país aún no existe ninguna instalación de parques fotovoltaicos flotantes, la CFE se convertiría en pionera en el desarrollo de este tipo de proyectos. Por lo anterior mencionado es conveniente que la CFE identifique no sólo los retos técnicos relacionados con la instalación y operación de paneles solares flotantes, sino que también identifique los retos que existen en materia medio ambiental y regulación eléctrica. Conociendo estos retos, la CFE podrá establecer y definir las actividades que necesita realizar para la implementación de esta tecnología, cumpliendo con todos los requerimientos que la legislación exige.

Desde el punto de vista ambiental la instalación de este tipo de tecnología puede traer diversos beneficios a la CFE, ya que además de incrementar la generación de energía eléctrica con fuentes limpias y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero dentro del Sector Eléctrico, puede reducirse la irradiación solar que recibe el cuerpo de agua almacenado en el embalse reduciendo el efecto de evaporación suponiendo un impacto positivo relevante en las reservas hidrológicas y más en época de sequía. Así mismo se puede tener un impacto positivo sobre la mitigación y acumulación de residuos orgánicos en el litoral del embalse que causa la proliferación de cierta flora de algas (eutrofización), ya que los paneles captan la luz solar que, en consecuencia, no absorben las algas, por lo que se limita su proliferación excesiva y da una buena calidad del agua, disminuyendo el impacto ambiental que ocasiona la cortina de la presa. Si bien es cierto, que donde se planea realizar la instalación de los paneles solares flotantes ya es un ecosistema con un impacto ambiental, no se conoce con certeza qué afectaciones se podrían presentar ya implementada esta tecnología, ya que no existen experiencias ni estudios científicos o técnicos suficientes para estimar el tipo y magnitud de los efectos ambientales que se esperan al cubrir parte de la superficie del cuerpo de agua de un embalse con una instalación fotovoltaica y se desconoce si puede haber otras posibles afecciones en relación con la fauna silvestre.

Por el lado de la regulación en el sector eléctrico, es conveniente que la CFE tenga claridad sobre las obligaciones que se deben de cumplir ante la CRE ya que la generación de energía es una actividad regulada en términos de la Ley de la Industria Eléctrica. En este contexto se deberán identificar obligaciones, con respecto al permiso de generación (incrementos de capacidad instalada), Contrato de Interconexión, así como el cumplimiento de otros instrumentos regulatorios como los manuales de operación que aplican a los participantes del Mercado Eléctrico Mayorista (como Generador) y el Código de Red. De manera adicional es necesario considerar los diversos trámites que se tendrían que realizar no sólo ante la CRE, sino también ante otros organismos gubernamentales especialmente el CENACE, ya que éste además de ser el responsable del Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional también es el Administrador del Mercado Eléctrico Mayorista.

1. Antecedentes de generación híbrida renovable.

En este capítulo se aborda el panorama mundial de la generación híbrida renovable, enfocándose en los diversos tipos de sistemas fotovoltaicos flotantes, con el motivo de que el lector tenga presente cuál es la madurez de esta tecnología de sistemas híbridos (Hidroeléctrica y Fotovoltaica) en diversos países, los cuales ya están puestos en operación en modo prueba, que quiere decir que están siendo analizados para ver la prefactibilidad de ser instalados a gran escala o los que ya están inyectando energía eléctrica a la red a una mediana o menor escala.

También se incluyen en este apartado los antecedentes del aprovechamiento de la generación tanto fotovoltaica como hidroeléctrica que tiene México, con el objetivo de analizar el panorama actual, para ser introducidas a la matriz energética, considerando la factibilidad con la que cuenta el país por optar por esta tecnología.

1.1. Panorama mundial de la generación híbrida renovable: Hidroeléctrica y Fotovoltaica.

Desde un inicio, las instalaciones fotovoltaicas ya sean del tipo de plantas de generación interconectadas a la red eléctrica o aisladas de la red, son instaladas en lugares en los que la radiación solar propicia un buen número de horas de sol al año. La gran mayoría de las instalaciones fotovoltaicas están montadas al nivel del suelo en parques solares de generación eléctrica, que son de enormes dimensiones. Estas ocupan una gran cantidad de hectáreas por Megawatts instalados (MW) o en los techos de edificaciones como los de los centros comerciales e industriales donde las instalaciones también suelen ser extensas hectáreas y pueden alcanzar escalas de MW o como también en las residencias privadas, las cuales tienen dimensiones menores a las otras ya mencionadas, por lo que sus instalaciones normalmente son en la escala de kilowatts (kW).

Sin embargo, de esta forma no se estaban considerando otros tipos de superficies que abarcan extensas hectáreas y que pueden aportar grandes niveles de energía fotovoltaica; a las superficies que nos referimos son: los pantanos, lagos, lagunas, embalses de las centrales hidroeléctricas y también se puede considerar el mar. De esta manera nace la idea de generar electricidad con base en centrales fotovoltaicas flotantes, por sus siglas en inglés ***Floating Photo-Voltaic (FPV)*** que utiliza la superficie de estas importantes masas de agua para instalar paneles fotovoltaicos flotantes. Este trabajo se enfocará en los sistemas *FPV* en centrales hidroeléctricas como se observa en la ***Ilustración 1***.

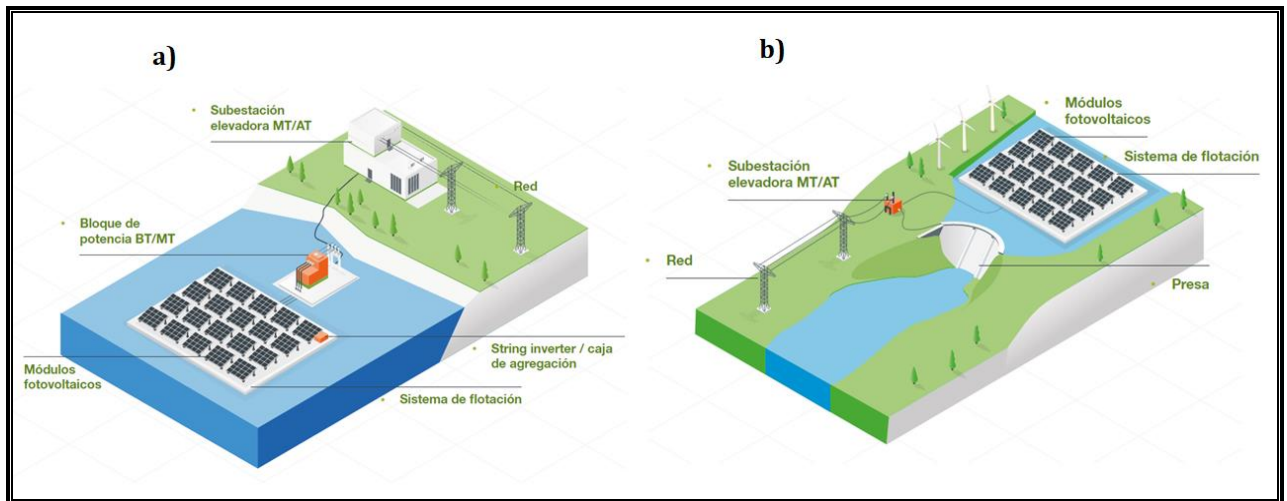


Ilustración 1 a) Planta Fotovoltaica Flotante b) Planta Fotovoltaica Flotante en Central Hidroeléctrica. Fuente: Iberdrola. ¿Conoces la energía solar fotovoltaica flotante?.

1.1.1. Avances en el desarrollo e instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes.

Actualmente este tipo de tecnología no ha sido completamente desarrollada y se tiene poca experiencia en este tipo de instalaciones a nivel mundial. Por lo que las empresas buscan innovar su tecnología para generar electricidad de forma más eficiente y con un desarrollo sustentable para el medio ambiente, especialmente porque hoy en día hay un gran auge en todo lo que se refiere a las energías renovables y al impacto medio ambiental.

El funcionamiento de una planta *FPV* tiene muchas similitudes con la operación de las plantas fotovoltaicas tradicionales (las instaladas en superficies terrestres fijas), ya que ambas constan de tres elementos principales, los cuales son:

- **Módulos Fotovoltaicos:** Son las células fotovoltaicas o también conocidas como paneles solares, las cuales tienen como función absorber los fotones de la irradiancia solar y transformarlos en energía eléctrica.
- **Inversores:** Es el equipo eléctrico que, a base de componentes electrónicos, como lo son: transistores, tiristores, bobinas, capacitores y resistencias, convierten la corriente eléctrica continua DC (corriente de señal continua) en corriente alterna AC (corriente de señal sinusoidal), que por tanto es la señal adecuada para introducirla a la red eléctrica.
- **Transformadores:** Son los equipos eléctricos ubicados en las subestaciones, los cuales tienen como función la de elevar la tensión para reducir las pérdidas eléctricas en la transmisión de la energía.

Los módulos FPV son iguales a los instalados en tierra y pueden ser de tecnología bifacial, ya que a diferencia de los paneles monofaciales, que captan radiación únicamente desde una de sus caras, mientras que la cara opuesta está compuesta por un material opaco; los paneles bifaciales

son un tipo de placa solar que se caracteriza por ofrecer una ganancia adicional de radiación solar tanto en la cara delantera como en la trasera de la misma, “*por lo que tendría mayor eficiencia en los sistemas fotovoltaicos bifaciales flotantes*”¹, al ser de material dual glass protege mejor de la humedad y la corrosión. A continuación se aprecia en la **Ilustración 2** un diagrama de Paneles con Tecnología Bifacial.

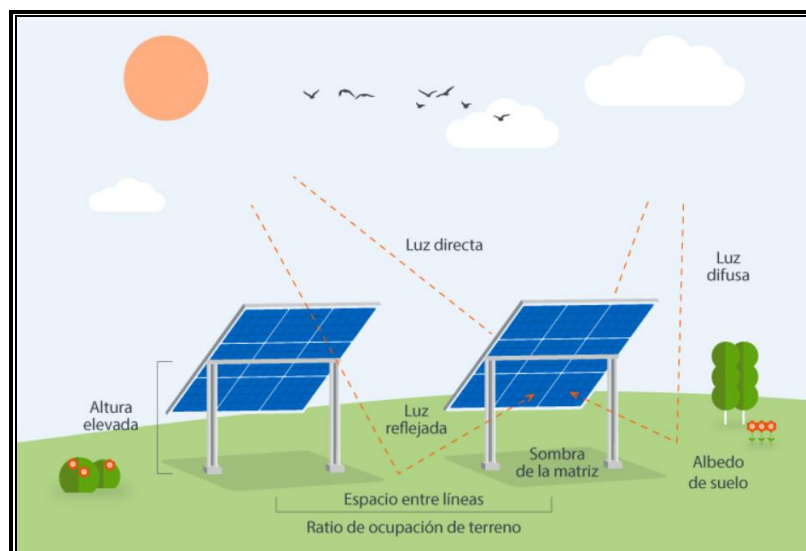


Ilustración 2 Módulos Fotovoltaicos de Tecnología. Fuente: Iberdrola. Paneles bifaciales: ¿Qué los hace diferentes?.

Los parámetros que influyen en el diseño de las centrales fotovoltaicas con paneles bifaciales, y que determinan la ganancia de generación de energía eléctrica, son:

- **Albedo:** Es el porcentaje de radiación de luz reflejada en cualquier tipo de superficie con respecto a la radiación solar incidente. Cabe aclarar que no es un valor único y constante, sino que varía dependiendo del tipo del material de la superficie del suelo reflejante (arena, roca, hierba, etc.) y también según la época del año. Por ejemplo: en temporada invernal tratándose de un suelo cubierto de nieve, el albedo tendrá un porcentaje de 90%, mientras que, en verano, con un suelo de hierba seca, el albedo será de 33%.
- **Separación entre filas:** También se le conoce de las siguientes formas “pitch” o “Ground Coverage Ratio” (GCR), este parámetro tiene un importante impacto en la cantidad de radiación que llega a la cara posterior de los paneles, al mantener una mayor capacidad de reflexión para la radiación incidente en el terreno. En otra situación la ganancia bifacial disminuye al considerar múltiples filas consecutivas de estructuras fijas o con seguidores debido a que la radiación reflejada en el suelo se va atenuando en cada fila y a que los paneles cercanos obstruyen y disminuyen la cantidad de radiación reflejada hacia la cara posterior.

¹ El Mtro. Pedro Alejandro Eusse Bernal en su exposición “**Resultados Proyecto Piloto Sistema Solar Fotovoltaico Flotante en el Embalse de Guatapé**” exhibida en el 2do Seminario de Energías Renovables Internacional, impartido en el Centro de Desarrollo y Capacitación en Energías Renovables (CDCER). El Mtro. Pedro Eusse realizó un estudio utilizando un sistema fotovoltaico bifacial flotante, en el cual obtuvo como resultado que la energía reflejada útil para estos sistemas es una ganancia del 3.5% más que un sistema fotovoltaico monofacial flotante.

- **Altura de la instalación:** Este parámetro es importante para el factor de generación de las plantas fotovoltaicas, ya que, a mayor altura de la estructura, mayor será la ganancia de radiación incidente, por lo que será directamente proporcional a la producción de los paneles bifaciales. La elevación de la instalación tiene un impacto sobre las cargas de la propia estructura y también sobre los gastos de capital (**CAPEX**) que tiene la empresa, por lo que debe analizarse en conjunto para valorar el beneficio.

También se presentan diferencias, tanto en una tecnología como en otra, refiriéndose a los sistemas *FPV*, los aspectos que los diferencian con respecto a los sistemas terrestres son: **el anclaje, el sistema de flotación y la evacuación de la energía desde la planta**. En cuanto al sistema eléctrico, se están desarrollando estructuras tipo barcaza con mucha flotabilidad que se emplean tanto para inversores como incluso para los transformadores, lo mismo sucede con los cables conductores de electricidad, donde se están dando importantes avances innovadores en lo que a soluciones de **sistemas de flotación** se refiere; tratándose del sistema de flotación, hay esencialmente cuatro tipos, que a continuación se explican en qué consisten y se pueden observar en la **Ilustración 3**.

- **Flotadores tipo Puros:** En estos sistemas, los paneles fotovoltaicos se encuentran situados sobre el sistema de flotación. En este tipo de sistemas, es importante calcular el ángulo máximo de inclinación para compensar el incremento de costo de este tipo de anclaje debido a las cargas sobre la estructura con el posible aumento de producción mediante la optimización del ángulo de inclinación. A continuación, se aprecian las ventajas y desventajas de este tipo de sistemas de flotación, como se indica en la **Tabla 1**.

Tabla 1 Ventajas e inconvenientes del diseño puramente flotante. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Ventajas	Desventajas
• Los sistemas son fáciles de montar e instalar • Los sistemas pueden ampliarse sin grandes cambios de diseño. • Se necesitan pocas piezas metálicas, lo que minimiza la corrosión. • La plataforma se adapta al movimiento de las olas y alivia la tensión.	• Los módulos se montan muy cerca del agua. Esto reduce la circulación de aire y el efecto de refrigeración por evaporación. También genera un entorno de alta humedad tanto para los módulos fotovoltaicos como para los cables. • No es rentable transportar flotadores puros a grandes distancias, por lo que puede ser necesario moldearlos en instalaciones cercanas. • El movimiento constante puede causar tensión y fatiga en las articulaciones y los conectores.

- **Flotadores tipo Metálicos:** Cuentan con una estructura de acero soportada por un sistema flotante sobre la que se apoyan los paneles fotovoltaicos y aunque ofrecen una mejor refrigeración se obtiene una eficiencia en la producción, los costos de los sistemas de flotación pueden ser muy elevados. A continuación, se aprecian las ventajas y desventajas de este tipo de sistemas de flotación, como se indica en la **Tabla 2**.

Tabla 2 Ventajas e inconvenientes del diseño de estructuras metálicas. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Ventajas	Desventajas
• El concepto es sencillo. • Los flotadores son fáciles de hacer y, por tanto, se pueden conseguir fácilmente en la zona. • El movimiento de las ondas entre los módulos fotovoltaicos es menos variable, lo que reduce el desgaste de los componentes y cables de conexión de los módulos.	• Con estructuras más rígidas, las ondas hacen que la tensión se concentre en determinados puntos. • Las estructuras son más difíciles de montar. • El acceso para el mantenimiento puede ser difícil en algunos diseños.

- **Flotadores tipo membrana y esferas:** Aunque este sistema de flotación es mucho menos habitual que los dos anteriores. Este tipo de plataforma se crea cubriendo toda la superficie del agua con esteras de goma para crear una base para la instalación fotovoltaica. El diseño es conceptualmente sencillo y proporciona una base fácil para la instalación y el mantenimiento, la cual se sujeta a un borde circular de hormigón y flotadores para conservar su forma y formar zanjas de profundidad variable que se adaptan a los cambios de nivel del agua y retengan el agua de pluvial. Actualmente esta tecnología no es escalable por lo que es adecuada para embalses de riego de capacidad de hasta unos 100,000 a 200,000 m².

Los sistemas basados en membranas tienen la ventaja de estar en contacto directo con el agua, de modo que la radiación térmica se transfiere al reservorio del estanque, lo que reduce la temperatura de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos y aumenta el rendimiento energético además de que cubren toda la superficie del agua por lo que resulta especialmente adecuado para zonas desérticas para evitar pérdidas por evaporación y también para ahorrar la escasa agua para regar o beber.

- **Otros sistemas:** Sistemas con materiales alternativos, normalmente compuestos de hierro y hormigón, actualmente con un menor nivel de implementación.



Ilustración 3 Sistemas de Flotación A) Puros; B) Metálicos; C) Membrana y esferas. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Estos sistemas cuentan con flotadores que se conectan con pasadores o pernos para formar una

gran plataforma con la finalidad de contar con una sola estructura, asegurando la conexión entre sí y proporcionando una separación suficiente para limitar el sombreado de los módulos fotovoltaicos. Estas estructuras se utilizan como pasarelas de mantenimiento aportando flotabilidad adicional. El material con el que se construyen los flotadores es polietileno de alta densidad (**HDPE**) resistente a los rayos UV y a la corrosión, se fabrica mediante un proceso de moldeo por soplado.

En seguida se abordan los **sistemas de anclaje**, una de las claves para mantener en operación a las plantas de energía solar *FPV* y que son de aspecto imperativo para mantener la plataforma en posición adecuada y semiestática. En este aspecto, lo primero es llevar a cabo un estudio topográfico para medir las profundidades del cuerpo de agua donde se planea realizar el proyecto de la instalación de la central *FPV*, ya que el fondo acuático no suele ser regular, a este estudio se le conoce como estudio de batimetría. También es importante considerar que hay que dejar que la instalación tenga cierta libertad de movimientos, considerando como ejemplo las centrales hidroeléctricas, ya que en los embalses el nivel del agua y la profundidad, varían con cierta frecuencia, dependiendo del **NAMINO**, **NAMO** y **NAME**, para la generación eléctrica que aporta la central hidroeléctrica a la red nacional. Actualmente, existen muchas soluciones de anclaje maduras gracias a la ingeniería marina y oceánica, así como en la industria de las embarcaciones, las cuales son soluciones que pueden transferirse y adaptarse fácilmente al contexto de los sistemas *FPV*. Los tres tipos más utilizados habitualmente de anclaje son los siguientes y se pueden observar en la **Ilustración 4**:

- **Anclaje en el fondo:** El anclaje de fondo se utiliza en la gran mayoría de las instalaciones de *FPV* existentes. Su principal función es mantener las instalaciones *FPV* en su sitio durante 25 años o más.

Existen dos grandes tipos de anclajes de fondo permanentes: los **autoasentables** y los anclajes **instalados**. Uno de los anclajes autoasentables más utilizados en la *FPV* consiste en un peso muerto, el cual es un gran bloque de hormigón que resiste el movimiento por su propio peso y, en menor medida, por su resistencia al asentamiento en el sustrato. Esta opción barata, sencilla y eficaz en muchos casos.

Las anclas instaladas suelen ser más caras que las autoasentables; a menudo se necesitan embarcaciones especializadas y buzos para su instalación, pero lo ameritan cuando las condiciones del terreno son más complejas, o cuando las cargas son grandes y es necesario instalar anclajes que proporcionen una mayor sujeción al fondo. Por ejemplo, un anclaje de tipo helicoidal es un eje equipado con palas anchas en espiral que permiten atornillarlo al sustrato.

- **Anclaje en la orilla:** Este tipo de anclaje es especialmente adecuado para estanques pequeños y bajos, donde la planta *FPV* está cerca de la orilla, ya que puede utilizarse cuando no se dispone de otras opciones, dado el caso de que cuando el fondo del estanque está revestido de plástico y no hay espacio para un ancla.

El anclaje en la orilla suele ser la opción más rentable, ya que favorece el acceso a los puntos de anclaje, tanto para el despliegue como para la inspección periódica durante la operación y el mantenimiento. Pero la viabilidad del anclaje en la orilla también puede depender de los factores ambientales de la costa y del permiso del propietario del estanque.

- **Pilotes:** En algunas masas de agua que normalmente son poco profundas, puede ser posible perforar o clavar pilotes en el fondo de la cuenca. La plataforma flotante se amarra a los pilotes. En este caso, el sistema de amarre responde a las variaciones del nivel del

agua, la plataforma se puede elevar o bajar por los pilotes. Sin embargo, la perforación de pilotes suele requerir equipos especializados y obras civiles, por lo que es mucho más costoso que el mismo sistema de anclaje.

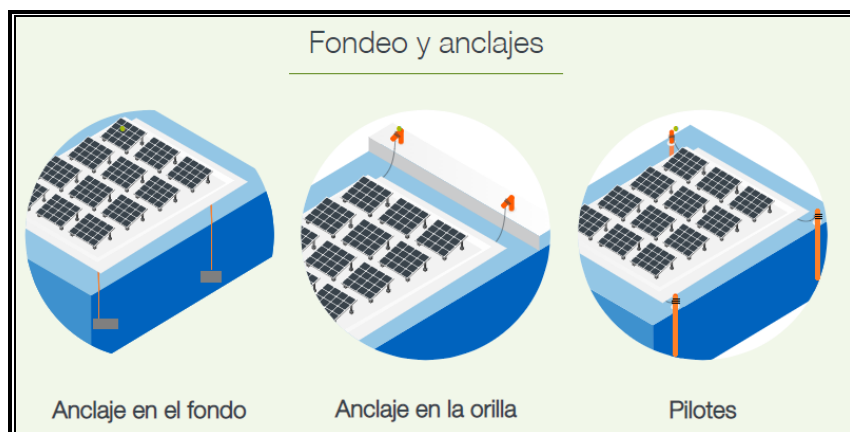


Ilustración 4 Tipos de Anclajes en de las Celdas Fotovoltaicas. Fuente: Iberdrola. ¿Conoces la energía solar fotovoltaica flotante?.

Por último, se aborda el tema de la **evacuación de la energía desde la planta en los sistemas FPV**. Al igual que las plantas fotovoltaicas terrestres que cuentan con enormes inversores centrales montados en tierra, los inversores de las FPV pueden ser centrales o en cadena y son instalados en el agua. Para su uso en el agua se suelen emplear los inversores de cadena, ya que son más ligeros que los grandes inversores centrales y pueden colocarse sobre flotadores normales. Aunque la desventaja de diseñar un proyecto FPV con inversores en cadena es que suelen ser más caros que los inversores centrales en centrales FPV a mayor escala de capacidad de generación, pero la ventaja es que ofrecen una mayor seguridad, en caso de que se suscitara una falla con un inversor sólo se ven afectadas pequeñas áreas de la planta fotovoltaica, por lo que el inversor averiado se sustituye rápidamente si se guardan algunas unidades de repuesto en su almacén.

Para las grandes plantas FPV, es conveniente instalar inversores en cadena de esta forma se evitan pérdidas resistivas. Para sostener los inversores centrales en contenedores se utilizan flotadores especiales de acero inoxidable u hormigón.

1.1.2. Panorama actual de la generación de sistemas fotovoltaicos flotantes a nivel Mundial.

A continuación, se inicia este subtema mencionando brevemente los hitos en el desarrollo de las instalaciones FPV, ya que después se dará una explicación más detallada de en qué consiste cada uno de éstos. Los eventos históricos más relevantes que marcaron la madurez de este tipo de tecnología de generación FPV son:

El primer sistema FPV enfocado a la investigación, con una capacidad de 20 kWp fue en la provincia de Aichi, Japón en el año 2007, el primer sistema FPV no relacionado con la investigación, con una capacidad de 175 kWp fue en la bodega Far Niente, Estados Unidos en el

año 2008, el primer sistema *FPV* a escala de MW, con una capacidad de 1.180 MWp fue en la prefectura de Saitama en Okegawa Japón en el año 2013 y el primer sistema *FPV* que combina energía solar e hidráulica, con una capacidad 220 kWp fue en la presa de Alto Rabagão.

“Actualmente el elevado costo de la energía y la limitada disponibilidad de terrenos, provocan que varios países enfrenten una crisis energética”², por lo que algunas naciones como lo son Japón, la República de Corea y Singapur, se están introduciendo en la industria fotovoltaica, empezando a estudiar el uso de cuerpos de agua para aplicaciones de sistemas *FPV*. Por las condiciones geográficas y su extensión territorial de estos países, sus gobiernos visualizan que una de las ventajas que los sistemas *FPV* ofrecen, es que permiten el despliegue de grandes instalaciones fotovoltaicas sobre los cuerpos de agua que estén cerca de sus centros de carga para inyectarlos a su red transmisión y de esta forma reducir así el costo para una nueva infraestructura de transmisión.

Se espera que la energía solar flotante tenga potencial a nivel mundial para los años venideros, aunque su tecnología es muy joven todavía, aun así, puede convertirse en uno de los pilares de las energías limpias para el planeta, complementando a la fotovoltaica tradicional. *“Hay más de 400,000 kilómetros cuadrados (km²) de embalses artificiales en el mundo lo que sugiere que los sistemas *FPV* tienen un potencial de despliegue a escala de terawatts”³*. La Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (**IHA**) informa en su documento (**World Hydropower Outlook 2023 - Opportunities to advance net zero**) que existe un potencial de entre 3 y 7.6 Terawatts (TW) de capacidad de generación eléctrica a partir de los sistemas *FPV* en los 400,000 km² de embalses hidroeléctricos artificiales. Además de ahorrar terreno, otra de las virtudes de esta tecnología, es que se ha comprobado que con ella se logra una mayor eficiencia y ahorro de costos a largo plazo.

Por ejemplo, China es una nación muy poblada, en la región del este su extensión de terreno disponible es limitada, pero contiene abundantes masas de agua. Por lo que el sureste asiático, podría habilitar la enorme capacidad adicional de sistemas *FPV* en las numerosas centrales hidroeléctricas que existen en la región. De hecho, las centrales hidroeléctricas ubicadas a lo largo del río Mekong podrían habilitar un sistema híbrido de generación para abastecer a la población. A medida que el auge de los sistemas *FPV* va creciendo surgen nuevos mercados y la capacidad instalada acumulada va incrementándose, por lo que las nuevas incorporaciones de generación híbrida crecerán rápidamente.

El estudio que realizó el **Banco Mundial (WB)** en su reporte de mercado solar flotante del 1 de enero de 2019 (**Where Sun Meets Water Vol.2**) establece que hay dos tipos de masas de agua que son: naturales y artificiales, por lo que en el trabajo de estudio solo se consideran los embalses y presas artificiales. *“Se utilizaron la Base de datos mundial sobre embalses y presas (GRanD) compilada por Lehner y otros (2011b) y distribuida por el Global Water System Project (GWSP) y el Columbia University Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)”⁴*.

² Reporte de Mercado Solar Flotante realizado por el Banco Mundial (**WB**) el 1 de enero de 2019 “**Where Sun Meets Water Vol. 2**”. Capítulo: *WHY FLOATING SOLAR?*. Página: 16

³ Reporte de Mercado Solar Flotante realizado por el Banco Mundial (**WB**) el 1 de octubre de 2018 “**Where Sun Meets Water**”. Capítulo: *MARKET OPPORTUNITIES*. Página: 8

⁴ Reporte de Mercado Solar Flotante realizado por el Banco Mundial (**WB**) el 1 de enero de 2019 “**Where Sun Meets Water Vol. 2**”. Capítulo: *3.1.2. Availability of water bodies*. Página: 56

Los cuerpos de agua naturales no se consideran en este estudio por las siguientes razones:

1. Reunir tal información para la realización de una lista mundial completa de masas de agua naturales sería una tarea muy complicada y llevaría mucho tiempo.
2. Hay que considerar normativas y regulaciones ambientales que se aplican a este tipo masas de agua, que son muy diferentes de las que se aplican a los embalses artificiales.

Durante la evaluación que realizó el *Banco Mundial (WB)* empleó la siguiente metodología:

- Se utilizaron datos del Sistema de Información Geográfica (**SIG**), indicando todos los cuerpos de agua, los cuales fueron seleccionados y se trazó en un mapa mundial de irradiación solar, calculándose el área superficial que cada masa de agua abarcaba, como se observa en la **Ilustración 5**. Con lo que se obtuvo una lista detallada con el potencial medio de irradiación que podían mantener los embalses artificiales del mundo; cabe señalar que este potencial medio sólo se podría alcanzar si se utilizara el 100% de la superficie de estas masas de agua.
- Calculando el área superficial útil se multiplica por un factor de 100 watts pico por metro cuadrado (**Wp/m²**), esto nos demuestra que se encuentra dentro del intervalo indicado por los proyectos de *FPV* ya existentes. El cual entrega como resultado la capacidad máxima total instalable en gigawatts pico (**GWp**).
- Para obtener el potencial de generación de electricidad, se multiplica la capacidad **instalada** por el rendimiento energético, utilizando la irradiación local con un supuesto normalizado de una relación de rendimiento del 80%.

Se recalca que este despliegue de información sólo es teórico para fines de investigación, ya que, para este estudio sólo se considera que se puede utilizar entre el 1% y el 10% de la superficie total del embalse, como se observa en la **Tabla 3**. Ya que al cubrir mayor porcentaje de la superficie se tendrían repercusiones negativas significativas en el impacto medio ambiental. De todas formas, se recomienda que al llevar la gestión del proyecto se realice la investigación apropiada para obtener un manifiesto de impacto ambiental, junto con un análisis técnico económico específicamente para cada embalse y de esta forma se podrá considerar si el proyecto permite un ratio de cobertura de superficie mayor; esto dependerá de las especificaciones propias de cada embalse.

Sin embargo, el Banco Mundial (**WB**) en su reporte de mercado solar flotante del 30 de octubre de 2018 (**Where Sun Meets Water**) menciona que, “Si se utilizara sólo el 1 % de la superficie de los embalses artificiales, la capacidad de *FPV* podría alcanzar rápidamente los 400 GWp, que es la capacidad total instalada de todos los sistemas fotovoltaicos solares convencionales combinados a finales de 2017. Incluso si sólo se cubriera el 10% de la superficie de uno de cada tres embalses artificiales del mundo, el mercado de *FPV* representaría una oportunidad de mercado a escala de terawatts (1,000 GW). Esto es incluso antes de aprovechar el potencial de recursos de las masas de agua naturales sin salida al mar del mundo o sus océanos, que reciben la mayor parte de la energía solar recibida en la Tierra”.

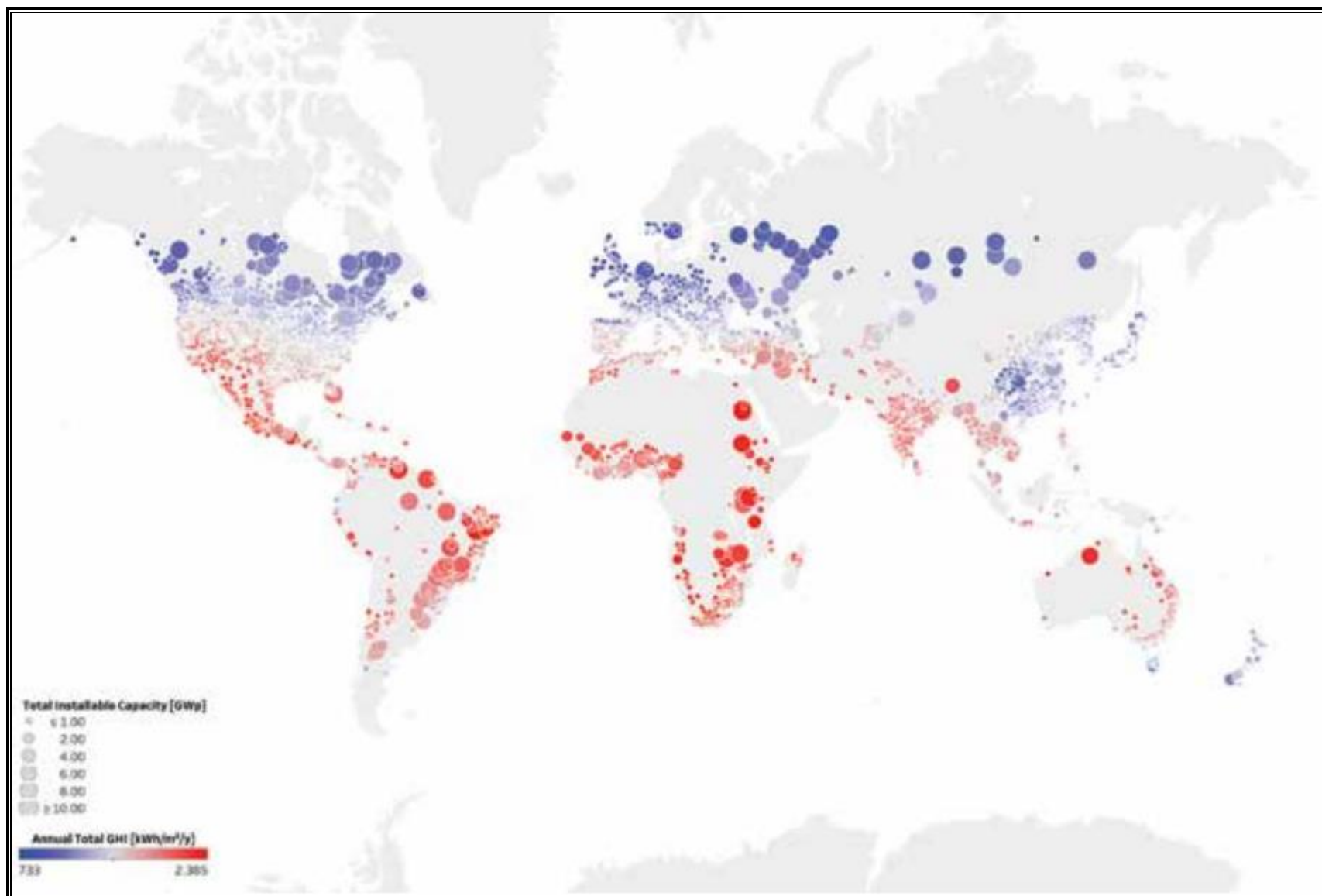


Ilustración 5 Potencial de capacidad FPV en todo el mundo basado en la superficie total disponible. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Tabla 3 Potencial fotovoltaico flotante, capacidad y generación de energía por continente sólo embalses y presas artificiales. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Continente	Superficie Total Disponible [km ²]	No. de cuerpos de agua evaluados	Capacidad total de FPV potencial [GWp] (% de la superficie del agua utilizada para la instalación fotovoltaica)			Producción total anual de energía FPV potencial [GWh/año] (% de la superficie del agua utilizada para la instalación fotovoltaica)		
			1%	5%	10%	1%	5%	10%
Africa	101,130	724	101	506	1,011	167,165	835,824	1,671,648
Asia*	115,621	2,041	116	578	1,156	128,691	643,456	1,286,911
Europe	20,424	1,082	20	102	204	19,574	97,868	195,736
N. America	126,017	2,248	126	630	1,260	140,815	704,076	1,408,153
Oceania	4,991	254	5	25	50	6,713	33,565	67,131
S. America	36,271	299	36	181	363	58,151	290,753	581,507
Total	404,454	6,648	404	2,022	4,044	521,109	2,605,542	5,211,086

“En la última década, la energía solar flotante ha crecido rápidamente en capacidad, de 70 MW en 2015 a 1,300 MW en 2020”⁵. Por lo que la situación actual del mercado mundial de los sistemas FPV ha experimentado un auge en los últimos años, especialmente porque en la actualidad se trata de cumplir las metas en cuestión de sustentabilidad energética y ambiental, por lo que implica mayor inclusión de fuentes limpias incluyendo las renovables, por ende, varias naciones están inclinándose por ampliar su matriz energética con estos tipos de sistemas de FPV y así aumentar sus capacidades instaladas. Los mayores sistemas de FPV en funcionamiento se encuentran en China, donde las empresas Sungrow Group y China Three Gorges New Energy Co., Ltd. se encuentran operándolas, estos proyectos tienen una capacidad de 150 megawatts pico (MWp) cada uno. El Banco Mundial (WB) reporta que la capacidad instalada mundial de FPV superó los 1.3 GWp en diciembre de 2018 y ha crecido exponencialmente desde 2017.

“Los datos del mercado sugieren que China se ha convertido en el líder del mercado FPV con capacidad instalada de más de 950 MWp, lo que representa alrededor del 73% del total mundial utilizando este tipo de tecnología. El resto de la capacidad instalada se reparte principalmente entre Japón con un 16%, la República de Corea con un 6%, Taiwán con un 2% y el Reino Unido con 1%, mientras que el resto del mundo representa sólo el 2%. Hasta la fecha se han instalado en Japón centrales de FPV por un total de más de 180 MWp, la mayoría de ellas de menos de 3 MWp”⁶.

En la actualidad la mayoría de las instalaciones son pequeños sistemas con capacidades inferiores a 3 MWp. Sin embargo, la cantidad de grandes proyectos ha ido en crecimiento significativamente desde 2017, por lo que se pronostica que esta tendencia va a continuar, con más proyectos de FPV mayores de 10 MWp en fase de desarrollo. Las 13 centrales más grandes

⁵ World Hydropower Outlook 2023 - Opportunities to advance net zero, por la International Hydropower Association (IHA). Capítulo: Floating solar/hybrids. Página: 24

⁶ Reporte de Mercado Solar Flotante realizado por el Banco Mundial (WB) el 30 de octubre de 2018 “Where Sun Meets Water”. Capítulo: 3.2. Current market status. Página: 58

con capacidad aproximada a 15 MWp en el mundo representan un porcentaje de alrededor del 70% de toda la capacidad instalada de sistemas *FPV*, como se muestra en la gráfica de pastel en la **Ilustración 6**. A continuación, se presenta una gráfica de barras en la **Ilustración 7**, la clasificación de los proyectos *FPV* en función a su capacidad instalada en MWp, se dividió en cinco categorías: **1°** Menos de 2 MWp, **2°** Entre 2 y 3 MWp, **3°** Entre 3 y 5 MWp, **4°** Entre 5 y 15 MWp y **5°** Más de 15 MWp.

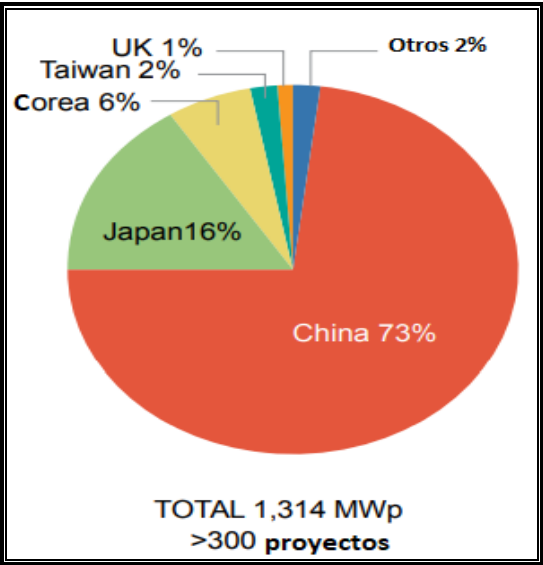


Ilustración 6 Capacidad instalada en las naciones con tecnología *FPV* en 2018. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

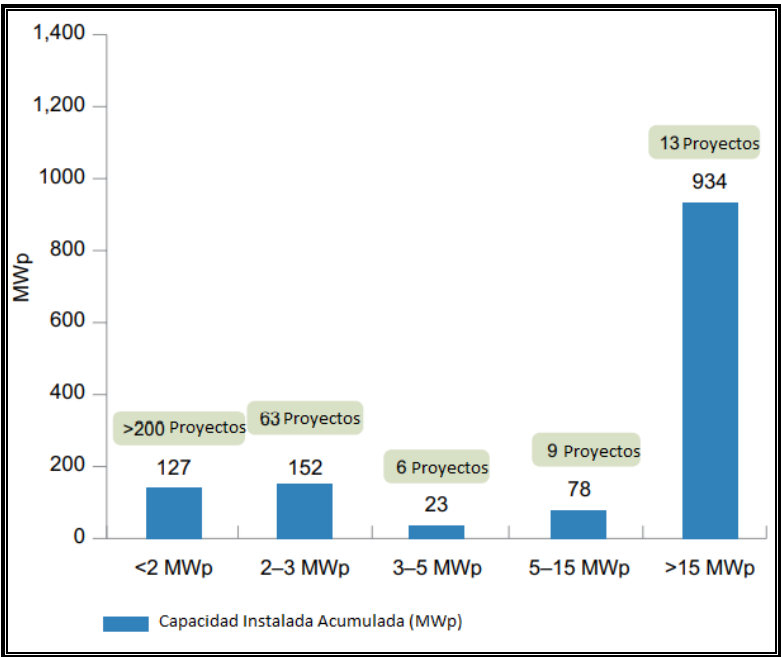


Ilustración 7 Distribución de las centrales de *FPV* según su tamaño en 2018. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

El despliegue de la generación híbrida renovable que combina a las tecnologías hidroeléctricas y FPV ha aumentado en los últimos años, pero su desarrollo sigue aún **en una fase no tan madura**. La Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA) informa en su documento (**World Hydropower Outlook 2023 - Opportunities to advance net zero**), que Asia-Pacífico es el mercado más grande y de más rápido crecimiento de sistemas híbridos FPV e hidroeléctricos, con 1,342 MW desplegados o en construcción, seguido de África con 600 MW, posteriormente esta América Latina con 381.8 MW y por último Europa con 26 MW. A continuación se muestra el mapa mundial (**Ilustración 8**) señalando tanto a los sistemas híbridos instalados como los que se encuentran en desarrollo.

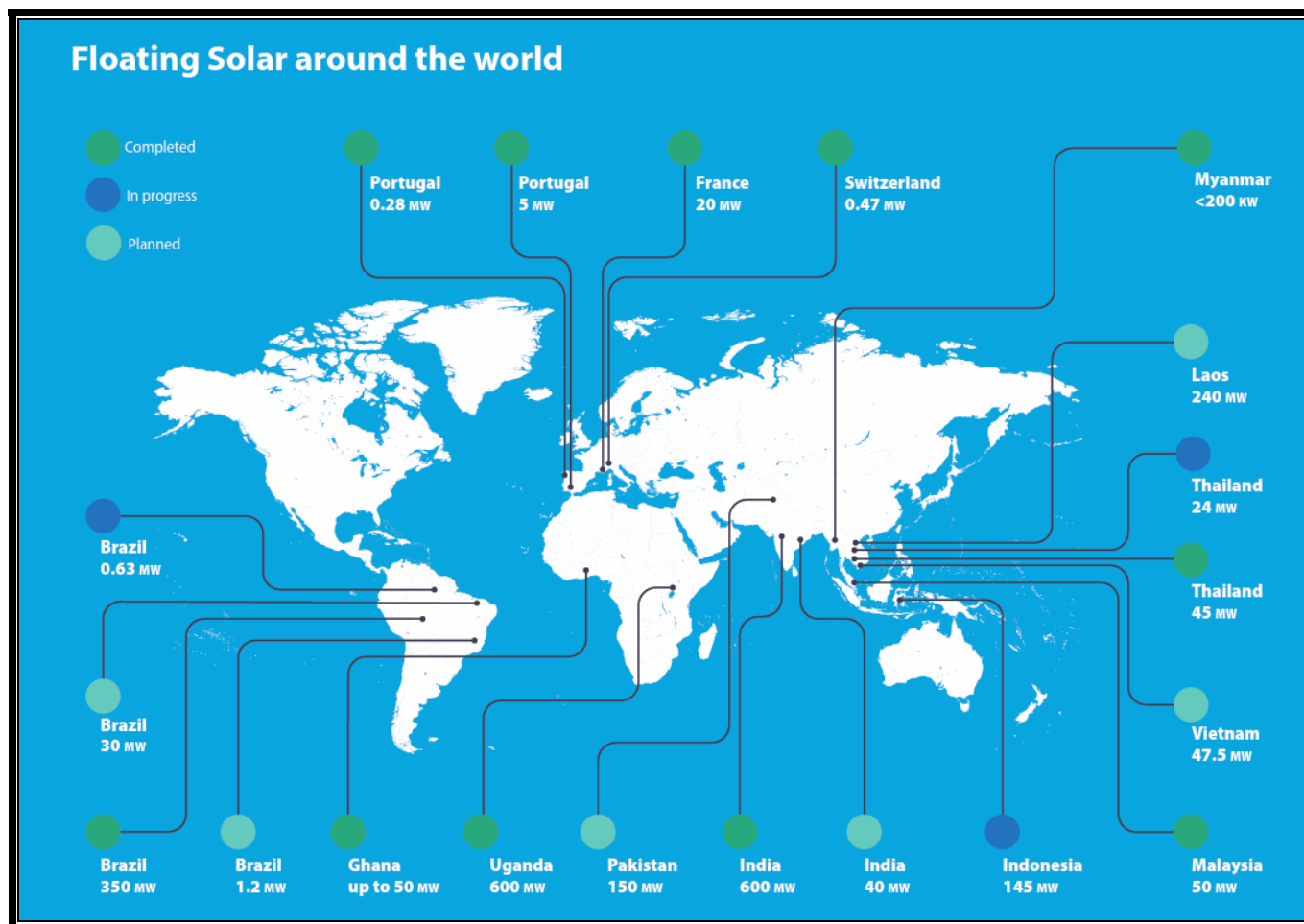


Ilustración 8 Sistemas híbridos (FPV e hidroeléctricos). Proyectos completados, en construcción y en planeación.

Fuente: International Hydropower Association (IHA). World Hydropower Outlook 2023 - Opportunities to advance net zero.

Desde el año 2018 varias naciones han instalado proyectos de tecnología tipo FPV, como ya se indicó con anterioridad, la mayor capacidad la tienen los países de China, Japón y Corea, pero también las naciones que se enlistan a continuación están incursionando en la exploración de sistemas FPV, como son: Taiwán, Reino Unido, India, Estados Unidos, Camboya, Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Chile, Colombia, España, Filipinas, Francia, Indonesia, Israel, Italia, Malasia, Países Bajos, Panamá, Portugal, Singapur, Suecia, Tailandia y Túnez. Aunque la mayoría de estos sistemas son de capacidad instalada capacidad de 2 Megawatts pico (MWp) máximo. Muchos de estos proyectos son de escala menor su propósito es con fines de

investigación y demostración, para la adaptación del terreno por lo que se están probando los sistemas fotovoltaicos sumergidos y concentrados.

A continuación, se mencionarán algunos de los proyectos mencionados en el reporte de mercado solar flotante (WB, where Sun Meets Water, Vol. 2, 2019) presentado por el Banco Mundial (WB) el 1 de enero del 2019, los cuales son:

- A. **Brasil:** El primer sistema *FPV* instalado fue en el año 2017 el cual tiene una capacidad de 305 kWp. Este sistema está ubicado en un estanque de acumulación de agua pluvial en el estado de Goias, como se observa en la **Ilustración 9**, el proyecto fue desarrollado por la empresa *Ciel & Terre International*.



Ilustración 9 Sistema *FPV* (de 305 kWp de capacidad) en Goias - Brasil. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

- B. **Japón:** Cabe resaltar que es el país con el historial más largo de instalaciones *FPV* a escala de MW. El primer proyecto de 20 kWp se completó en el año 2007 en la prefectura de Aichi que está ubicada en la región Chūbu. La cual tenía como objetivo ser un prototipo de investigación del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada.

También fue el primero en instalar sistemas *FPV* a escala MW, el proyecto se puso en operación en julio del 2013 y se realizó sobre un estanque de retención de agua de lluvia. Esta planta fotovoltaica flotante tiene una capacidad de 1.18 MWp, la cual se encuentra en la ciudad de Okegawa, prefectura de Saitama, Kanto, Japón. El sistema solar flotante posee 4,536 paneles y cubre aproximadamente el 38% de la superficie del agua que aproximadamente son 3.07 ha. El anclaje inferior se diseñó para alcanzar una profundidad máxima de 6 m y una variación de nivel de 6 m.

Se estima que más de 180 MWp de sistemas *FPV* fueron desplegados en Japón a finales del 2018. Los sistemas *FPV* ofrecen muchas ventajas para esta nación, debido a la topología de su terreno que es montañoso y muchas desigualdades superficiales, por lo que más del 70% de su territorio no es apto para instalaciones fotovoltaicas en suelo. Pero en cambio alberga abundantes cuerpos de agua; los cuales se contabilizan en más de 200,000 embalses agrícolas, que son utilizados para el riego o la retención de agua pluvial, entre sus muchos lagos, presas y embalses. La segunda instalación *FPV* más grande del mundo fuera de China se encuentra en la presa de retención de agua de Yamakura, en la prefectura de Chiba que está ubicada en la región Kantō, con una capacidad de 13.7 MWp, la cual se observa en la **Ilustración 10**.



Ilustración 10 Instalación *FPV* (con una capacidad de 13.7 MWp) en la presa de Yamakura (Japón). Fuente: Banco Mundial (WB). *Where Sun Meets Water* Vol. 2.

- C. **Panamá:** En febrero de 2017, la empresa *Ciel & Terre International* desarrolló un proyecto de 24 kWp en un estanque de retención de agua, el cual fue e interconectado a la red eléctrica, como se observa en la **Ilustración 11**. Este sistema *FPV* consta de 96 células solares situadas en el gran lago Gatún y cerca de las esclusas de Miraflores, en el lado Pacífico del Canal de Panamá.

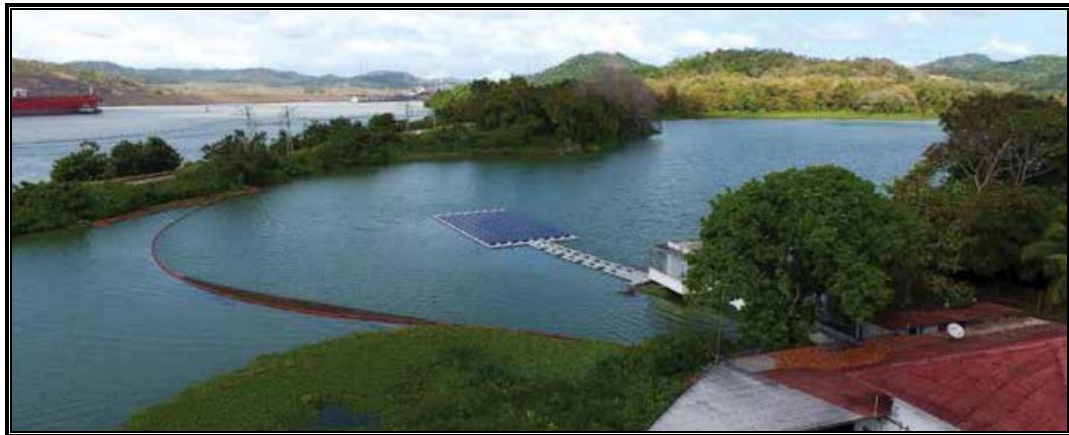


Ilustración 11 Sistema *FPV* (con 24 kWp de capacidad) en Miraflores, cerca del Canal de Panamá. Fuente: Banco Mundial (WB). *Where Sun Meets Water* Vol.2 .

- D. **Estados Unidos:** En el 2008 se instaló el primer sistema *FPV* comercial del mundo, de 175 kWp en un estanque de riego en bodega Far Niente, en el valle de Napa, California. Es un sistema híbrido lo cual está integrado por paneles fotovoltaicos que se encuentran en el estanque y la otra en tierra firme. Este sistema está conformado 994 paneles en el estanque y 1,302 en tierra, cubriendo 2.5 acres de espacio en total y produciendo más energía de la que necesita, como se observa en la **Ilustración 12**.



Ilustración 12 Sistema FPV (con 175 kWp de capacidad) en la bodega Far Niente del Valle de Napa, California.
Fuente: Autoconsumo.

E. **Portugal:** El primer proyecto de sistemas *FPV* que se construyó en una central hidroeléctrica se encuentra en una presa situada en la desembocadura del río Rabagão, en Montalegre, Portugal. El sistema tiene una capacidad de 220 kWp, el cual ocupa una superficie de unos 2,500 m². El proyecto piloto fue construido por la empresa **Energías de Portugal (EDP)** en 2015 y está operación desde finales de noviembre de 2016 (como se observa en la *Ilustración 13*). El amarre de esta central eléctrica flotante fue muy complicado, ya que el fondo del embalse tiene más de 60 metros de profundidad y el sistema debe hacer frente a una fluctuación regular del nivel del agua de hasta 30 metros.



Ilustración 13 Sistema FPV (con 220 kWp de capacidad) en la desembocadura del río Rabagão, en Montalegre - Portugal. Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol.2.

Para evitar que los gobiernos expropien predios para parques fotovoltaicos destinados a otros usos como la agricultura, algunas economías cuentan con mecanismos específicos de apoyo para los sistemas *FPV* para fomentar la utilización de cuerpos de agua inactivos, por lo que en algunas regiones de países que tratan de incursionar en los sistemas *FPV* promueven la inversión privada para el uso de la tecnología *FPV*, ofreciendo incentivos financieros por la instalación de sistemas fotovoltaicos sobre el agua. Por mencionar algunos ejemplos: **Taiwán (China)** el cual ha

implantado un régimen de tarifas de alimentación que favorece las instalaciones flotantes frente a las fotovoltaicas instaladas en tierra; otro sería el estado de **Massachusetts (Estados Unidos)** que indica que los sistemas fotovoltaicos flotantes disponen de un valor "adicional" en las tasas de compensación del programa de incentivos estatales; y por último ejemplo es la **República de Corea** que concede una mayor ponderación a los certificados de energía renovable (CER) para los sistemas fotovoltaicos flotantes que para los instalados en tierra. A continuación, se explicará a más detalle cada uno de estos tres ejemplos mencionados en una tabla realizada por el Banco Mundial (WB) en su reporte de mercado solar flotante del 1 de enero de 2019 (*Where Sun Meets Water Vol. 2*), como se observa en la **Tabla 4**.

Tabla 4 Mecanismos de apoyo para los Sistemas Fotovoltaicos Flotantes (FPV). Fuente: Banco Mundial (WB). Where Sun Meets Water Vol. 2.

Economía	Mecanismo de Apoyo
Taiwán, China	Se aplica una tarifa de alimentación específica a la energía solar fotovoltaica flotante (FPV); es mayor que la FIT utilizada en los sistemas fotovoltaicos tradicionales. Para el periodo del segundo semestre del 2018, la FIT para los sistemas montados en tierra fue de 4.2943 NT\$/kWh frente a 4.6901 NT\$/kWh para los sistemas FPV. A principios del 2019, el Ministerio de Asuntos Económicos anunció que los FIT para FPV se reducirían en el periodo del primer semestre del 2019 a 4,5016 NT\$/kWh (para proyectos no conectados a la red de transmisión de alta tensión) o NT\$4,9345/kWh (para proyectos conectados). Estas tarifas son aproximadamente un 10% más altas que las FIT para proyectos fotovoltaicos tradicionales de tamaño similar (≥ 1 MW). Las FIT de FPV bajarán otro 1,5 por ciento en el segundo semestre de 2019 (Ministerio de Asuntos Económicos 2018-2019).
Massachusetts Estados Unidos	El programa Solar Massachusetts Renewable Target (SMART) se puso en marcha en 2018. Ofrece una tasa de compensación adicional basada en la ubicación de 0.03 \$/kWh (Tramo I-80 MW) para FPV en determinadas condiciones (Mass.gov s.f.).
República de Corea	Como parte de las Normas de Cartera de Energías Renovables, los productores de energía con una capacidad de generación instalada superior a 500 MW deben producir una proporción mínima de su energía utilizando fuentes de energía nuevas y renovables. La proporción obligatoria de suministro de servicios renovables para 2018 es del 6 % de la generación total de electricidad (excluida la generación de energía nueva y renovable). Se aplica un sistema de ponderación a las distintas tecnologías renovables a efectos del cálculo del coeficiente; para las instalaciones FPV la ponderación es de 1.5, frente al 0.7 para los sistemas tradicionales fotovoltaicos de más de 3 MW (Agencia de la Energía de Corea, s.f.).
Nota:	FPV = fotovoltaica flotante; kWh = kilowatt-hora; MW = megawatt; NT\$ = nuevo dólar de Taiwán; Fit = Tarifas de alimentación preferentes.

En conclusión, los países que esperan integrar la generación eléctrica a base de sistemas *FPV* a su matriz energética y que sea implementada correctamente como parte del desarrollo de su mercado solar fotovoltaico, deben promover un mejor entorno normativo y político para facilitar el desarrollo de proyectos, estableciendo las directrices regulatorias para gestionar los riesgos en la instalación, como los que se mencionan a continuación:

- Aspectos sobre la concesión de permisos y licencias, los cuales requieren la cooperación interinstitucional entre las autoridades energéticas e hidrológicas, donde se incluyan los **Manifiestos de Impacto Ambiental (MIA)** de las instalaciones de *FPV*.

- Los derechos de agua y permisos para instalar una planta *FPV* en la superficie de un cuerpo de agua, el cual debe ser anclada en el embalse o junto a él.
- Que se estudien mecanismos de apoyos para las instalaciones *FPV*, que podría hacerse de forma equivalente a las empleadas en la generación eléctrica fotovoltaica terrestre, por ejemplo, mediante los **Certificados de Energías Limpias (CEL)**⁷, los cuales permiten a los proyectos amortizar los costos relacionados con su interconexión a la red y nivelar la competencia que en la mayoría de los casos son plantas termoeléctricas convencionales.

1.1.3. Potencial de desarrollo de sistemas fotovoltaicos flotantes en México.

Con la participación de la inversión privada y el fortalecimiento de la **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** como empresa productiva del Estado, México se ha convertido en una de las economías más atractivas para la generación de energía eléctrica con base en energías renovables, al reducir con ello la dependencia al uso de combustibles fósiles, y, optar por aquellos que sean más eficientes y menos dañinos al medio ambiente

Como ya se mencionó con anterioridad, este tipo de proyectos *FPV* a nivel mundial se encuentran todavía en distintas etapas de desarrollo e implementación, por lo que, para el caso de México, este tipo de proyectos resultan novedosos dentro de la Industria Eléctrica como una forma de incrementar la participación de fuentes limpias dentro de la matriz de generación nacional.

Por lo que el auge de los sistemas *FPV* ofrece una nueva y prometedora alternativa de combinar la energía *FPV* con la hidroeléctrica. Al ser la energía hidroeléctrica un tipo de fuente de energía despachable al instante pero que suele ocuparse en demandas pico, la energía fotovoltaica variable tiene el potencial de compensar la energía no generada en el resto de tiempo, cuando no están en operación las centrales hidroeléctricas. Debido a que en el país aún no existe ninguna instalación híbrida de energía hidroeléctrica y parques fotovoltaicos flotantes, aún se encuentran en sus primeras fases de diseño a cargo de la **empresa productiva subsidiaria (E.P.S)** del estado, por lo que la CFE se convertiría en pionera en el desarrollo de este tipo de proyectos.

El establecimiento de sinergias entre las presas hidroeléctricas y las centrales de *FPV* para generar más electricidad es una opción atractiva para la empresa CFE, ya que ésta cuenta con una gran infraestructura con diversas centrales hidroeléctricas y desea incrementar su capacidad de generación instalando sistemas fotovoltaicos flotantes en 26 de sus centrales hidroeléctricas, como se observa en la **Tabla 5 e Ilustración 14**, que se encuentran repartidas por la República Mexicana.

⁷ Cabe resaltar que los **Certificados de Energía Limpia (CEL)** se encuentran suspendidos por mandato de actual gobierno mexicano, por lo que se tendrá que buscar algún otro tipo de mecanismo económico que ayude a desarrollar e instalar este tipo de sistemas fotovoltaicos flotantes en el país.

Tabla 5 Catalogo de Centrales Hidroeléctricas de la CFE y CONAGUA para la prefactibilidad de la instalación de Sistemas FPV. Fuente: CFE. Prontuarios de Centrales Hidroeléctricas junio 2021

N°	Central Hidroeléctrica	Tipo De Central	Presa	Estado	Municipio Donde Se Ubica	Rio Aprovechamiento	Entidad Responsable
1	Belisario Domínguez (Angostura)	Gran Escala	Angostura	Chis.	Venustiano Carranza	Grijalva	CFE
2	Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Gran Escala	Chicoasén	Chis.	Chicoasén	Grijalva	CFE
3	Malpaso	Gran Escala	Netzahualcóyotl	Chis.	Tecpatán	Grijalva	CONAGUA
4	Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Gran Escala	Peñitas	Chis.	Ostucan	Grijalva	CFE
5	Alfredo Elías Ayub (La Yesca)	Gran Escala	La Yesca	Hgo.	Hostotipaquillo	Santiago	CFE
6	Leonardo Rodríguez Alcaine (El Cajón)	Gran Escala	El Cajón	Nay.	Santa María Del Oro	Santiago	CFE
7	Aguamilpa Solidaridad	Gran Escala	Aguamilpa	Nay.	Tepic	Santiago	CFE
8	Ing. Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol)	Gran Escala	El Caracol	Gro.	Apaxtla	Balsas	CFE
9	Infiernillo	Gran Escala	Adolfo López Mateos	Mich.	Arteaga	Balsas	CFE
10	La Villita	Gran Escala	José María Morelos	Mich.	Lazaro Cardenas	Balsas	CONAGUA
11	Fernando Hiriart Balderrama (Presa Zimapán)	Gran Escala	Zimapán	Hgo.	Zimapán	Moctezuma	CFE
12	Luis Donaldo Colosio (Huites)	Gran Escala	Luis Donaldo Colosio Murrieta (Huites)	Sin.	Choix	El Fuerte	CONAGUA
13	Plutarco Elías Calles (El Novillo)	Mediana Escala	El Novillo	Son.	Soyopa	Yaqui	CFE
14	27 de Septiembre (El Fuerte)	Mediana Escala	El Fuerte	Sin.	El Fuerte	El Fuerte	CONAGUA
15	Temascal	Gran Escala	Pdte. Miguel Alemán	Oax.	San Miguel Soyaltepec	Tonto	CONAGUA
16	La Amistad	Mediana Escala	Amistad	Coah.	Ciudad Acuña	Bravo	CILA (Comisión Internacional de Límites y Aguas)
17	El Humaya	Mediana Escala	Adolfo López Mateos	Sin.	Badiraguato	Humaya	CONAGUA / CFE
18	Bacurato	Mediana Escala	Gustavo Díaz Ordaz	Sin.	Sinaloa De Leyva	Sinaloa	CONAGUA / CFE
19	Falcón	Mini Hidro	Falcón	Tamps.	Nueva Cd. Guerrero	Moctezuma	CILA (Comisión Internacional de Límites y Aguas)
20	Colina	Mini Hidro	Colina	Chih.	San Francisco De Conchos	Conchos	CFE
21	Mocúzari	Mini Hidro	Adolfo Ruiz Cortines	Son.	Álamos	Mayo	CONAGUA
22	Gral. Salvador Alvarado (Sanalona)	Mini Hidro	Sanalona	Sin.	Culiacán	Tamazula	CONAGUA
23	Prof. Raúl Jaime Marsal Cordoba (Comedero)	Mediana Escala	José López Portillo	Sin.	Cosalá	San Lorenzo	CONAGUA / CFE
24	Oviachic	Mini Hidro	Álvaro Obregón	Son.	Cajeme	Yaqui	CONAGUA
25	Boquilla	Mini Hidro	La Boquilla	Chih.	San Francisco De Conchos	Conchos	CFE
26	Mazatepec (Presa La Soledad)	Gran Escala	La Soledad	Pue.	Tlatlauquitepec	Apulco	CFE

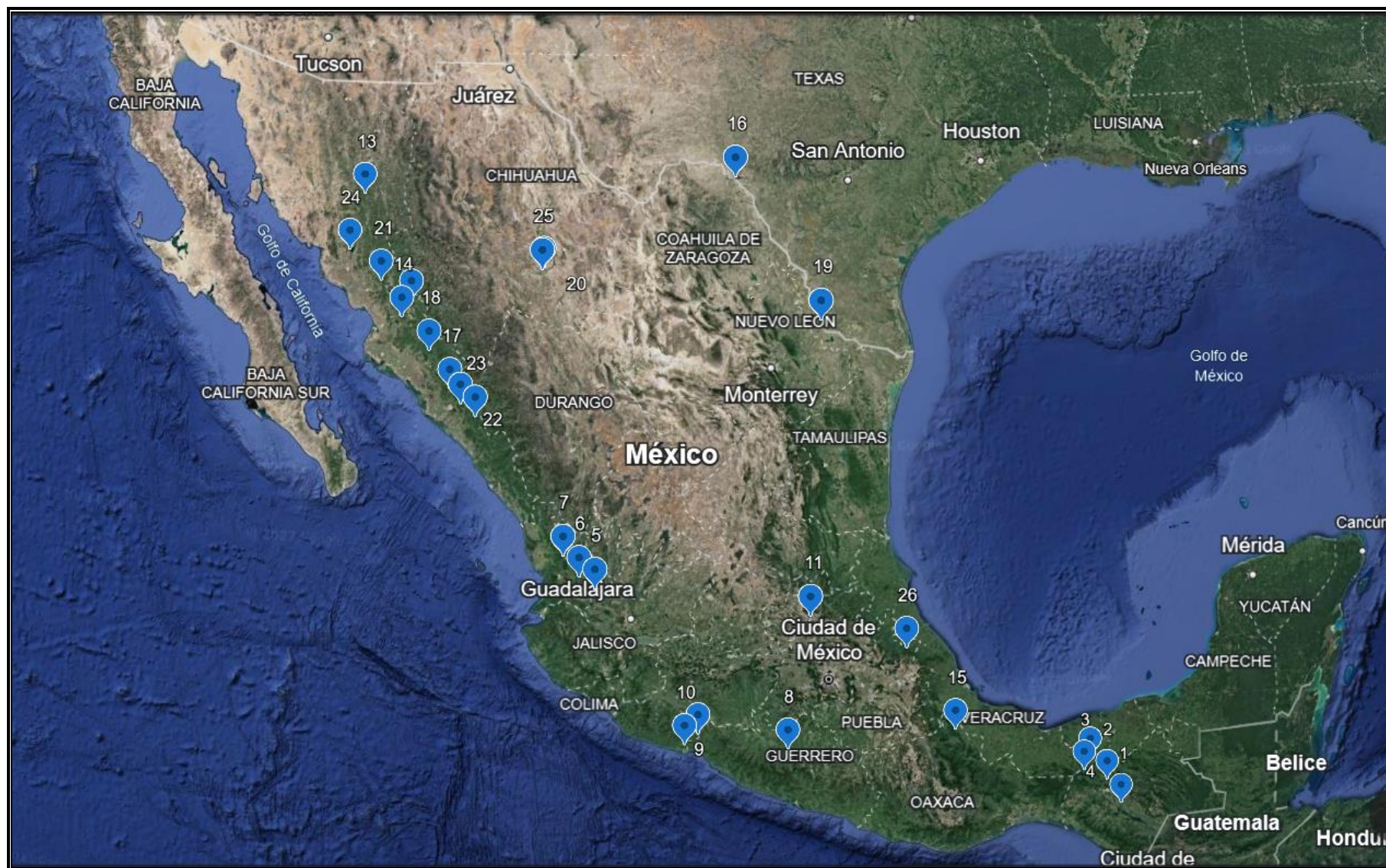


Ilustración 14 Centrales Hidroeléctricas factibles para la integración de Sistemas FPV, pertenecientes a CFE y CONAGUA. Fuente propia utilizando el software Google Earth.

Se detectan varias características positivas en cuestión a la flexibilidad de gestión de los Sistemas Híbridos Renovables, de acuerdo con lo estipulado por El Banco Mundial (**WB**) en su *reporte de mercado solar flotante del 1 de enero de 2019 (Where Sun Meets Water Vol. 2)* menciona que:

- Los sistemas híbridos cuentan con un control automático en la etapa de generación (**AGC**) que se encarga de supervisar la potencia de salida en tiempo real que la planta fotovoltaica inyecta a la red, también recibe diferentes referencias de ajuste de la red y calcula el punto de ajuste de potencia total para la energía hidroeléctrica. Finalmente, el AGC determina la potencia activa de cada unidad hidráulica.
- En el corto plazo, la producción de energía en una central hidroeléctrica, puede ser reajustada por medio de la modulación de la frecuencia del agua turbinada mediante pequeños movimientos de paletas de su turbina, logrando suavizar de esta forma la curva de producción variable de todo el sistema *FPV*.
- Es posible hacer un ajuste en el nivel de agua en el embalse de una planta hidroeléctrica con el fin de hacer una compensación de la aleatoriedad de la producción fotovoltaica. De esta forma cuando se presentan demandas altas y bajas en el sistema, las centrales hidroeléctricas son capaces de atenuar la producción y fomentar el almacenamiento en el embalse. Así, cuando se presenta una baja producción fotovoltaica y decae la demanda del sistema, la central hidroeléctrica tiene la capacidad de liberar e incrementar su producción. Dando prioridad a otras funciones del embalse, como es el caso de riego, los caudales medioambientales que se encuentran aguas abajo para mantener el balance hídrico diario del embalse, deben mantenerse en su nivel anterior a la instalación del sistema híbrido.
- Es importante mencionar que cuando las precipitaciones son frecuentes en algunas estaciones del año y la esorrentía es alta, las centrales hidroeléctricas cuentan con una capacidad de embalse limitada, por lo que se ven forzadas a trabajar a su máximo rendimiento y, por esta razón, no será posible hacer compensaciones en las fluctuaciones de la energía fotovoltaica. En tal caso, la operación del Sistema híbrido presentará un desempeño poco óptimo e ineficaz y se verán obligadas a verter agua o reducir la potencia fotovoltaica.
- La instalación de sistemas fotovoltaicos en la superficie del cuerpo de agua que almacena el embalse, puede ahorrar el costo del terreno y la construcción de una carretera, ya que el acceso sería por la carretera que lleva a la central hidroeléctrica.

Los sistemas híbridos de energía hidroeléctrica y *FPV* son capaces de ofrecer grandes ventajas en términos de integración en la red, utilización de los equipos y coste:

- La hibridación con la energía hidroeléctrica mejora la calidad de la energía fotovoltaica, ya que ésta es variable y no despachable, por lo que se convierte, al menos una parte en electricidad estable y despachable. Desde el punto de vista del sistema eléctrico, una energía fotovoltaica estable y despachable implica una menor necesidad de reservas de almacenamiento de energía, lo que implica la reducción del costo del sistema de generación eléctrica.
- Otra gran ventaja de la puesta en marcha del sistema híbrido es el de aprovechar al máximo la infraestructura eléctrica existente, incluido el acceso a la red y transformadores, lo que puede reducir los costos del capital y acelerar la ejecución del proyecto.

- Los recursos hídricos y la energía solar pueden compensarse mutuamente cuando operan en sinergia como un sistema híbrido. Tal es el caso durante el ciclo diurno (utilizando la energía solar durante el día y la hidroeléctrica por la noche), sino también a lo largo de algunas estaciones del año, que son épocas de sequía o las **horas críticas**⁸, por ejemplo, cuando hay poco almacenamiento de agua y baja producción hidroeléctrica, el tiempo soleado permite una mayor generación fotovoltaica. La fotovoltaica compensa el déficit hidroeléctrico y viceversa, por lo que hace que este sistema híbrido sea flexible ante diversas eventualidades.

En todos los casos, la producción total del sistema híbrido debe ayudar a satisfacer la demanda del **Sistema Eléctrico Nacional (SEN)**. Por otro lado, hay cuestiones a considerar que se refieren al acceso a la infraestructura de transmisión existente. ¿Cómo se gestionará? ¿Quién será responsable? ¿Qué permisos y acuerdos serán necesarios? ¿Las centrales hidroeléctricas requieren una consideración especial? ¿Se permitirá al propietario/operador de la central hidroeléctrica añadir una instalación FPV? ¿Se le permitirá ofrecer una concesión a un tercero para que construya, posea y explote dicha instalación?

En caso afirmativo, habrá que establecer reglas para coordinar el despacho de la producción de las centrales híbridas (solar e hidroeléctrica). Por último, los riesgos y responsabilidades relacionados con la central hidroeléctrica también pueden afectar a las instalaciones solares conectadas.

1.2. Antecedentes del aprovechamiento de la energía hidroeléctrica en México.

En este tema se abordará la prospectiva que tiene la energía hidroeléctrica en México, basándose en el documento oficial, dirigido por la **SENER**, el documento se llama **Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN)**, el cual funge como el instrumento que detalla la planeación anual del SEN con una visión a mediano y largo plazo (15 años), el cual concreta la política energética nacional en materia de electricidad, alineada al *Plan Nacional de Desarrollo*, que es el documento en el que el Gobierno de México explica cuáles son sus objetivos prioritarios durante el sexenio presente.

El **PRODESEN** aparte de definir la planeación del SEN, también informa sobre los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución; así como también el **Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)**, el cual tiene como objetivo promover la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda del SEN y cumplir con los objetivos de Energías Limpias, este capítulo añade información de la Prospectiva de Energías Renovables, el cual ofrece información relevante y actualizada acerca del crecimiento estimado del aprovechamiento de las energías renovables en el mediano y largo plazo en la matriz energética del país.

⁸ Revisar el Glosario.

México cuenta con recursos hídricos suficientes y adecuadamente distribuidos, y su potencial hidroeléctrico está en función del almacenamiento de las presas, que es del orden de 150 mil millones de metros cúbicos, este volumen depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país.

La generación total suministrada al SEN en el año 2022 fue de 238,092,668.32 MWh, del cual el porcentaje de las centrales hidroeléctricas representó el 14% del total que significó 34,110,313.59 MWh y contribuyó con las energías limpias con un 66.5%. Por lo que la mayor parte de la capacidad en operación renovable continúa dominada por la generación hidroeléctrica, de acuerdo con los datos obtenidos del **Sistema de Información Energética** del SEN.

1.2.1. Panorama actual de la generación Hidroeléctrica en México.

Una de las prioridades de esta Administración en el sector energético, es la transición energética rumbo a una generación y consumo de energía más limpia. Para ello, se han dado pasos firmes para incrementar la participación de las energías renovables, el fomentar el uso de este tipo de tecnologías que conlleva múltiples beneficios, como son: mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y aumentar la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, con un efecto positivo en la seguridad energética de México.

La energía hidroeléctrica ocupa la primera posición dentro de las energías renovables en México, gracias a las virtudes que esta provee, la mayoría de las centrales hidroeléctricas se clasifican como centrales piqueras (son aquellas centrales dedicadas o reservadas para operar cuando se presenten picos de demanda, por tanto su tecnología debe favorecer rápidamente la generación cuando la rampa de demanda esté en ascenso generando por períodos cortos) o energía de respaldo por el bajo costo de sus costos variables para la producción de energía eléctrica y puede tener un alto nivel de potencia dependiendo del embalse con el que cuente. Sin embargo, hoy en día este tipo de tecnología se enfrenta a un fuerte riesgo: el cambio climático, ya que los grandes embalses cuando escasea el recurso priorizan su uso para el consumo agrícola, ganadero y humano.

La CFE en el año 2020 contaba con un parque de generación de 159 Centrales asignadas a cinco Empresas Productivas Subsidiarias de Generación y 33 Centrales de Productores Externos de Energía, de las cuales 60 son centrales hidroeléctricas, como se observa en la **Ilustración 15**, y una Central Nuclear; dando un total de 192 centrales y 982 unidades generadoras y una Capacidad Bruta Efectiva total de 59,003.819 MW. También posee una gran cantidad de subestaciones elevadoras y reductoras y largas distancias de líneas de transmisión y distribución.

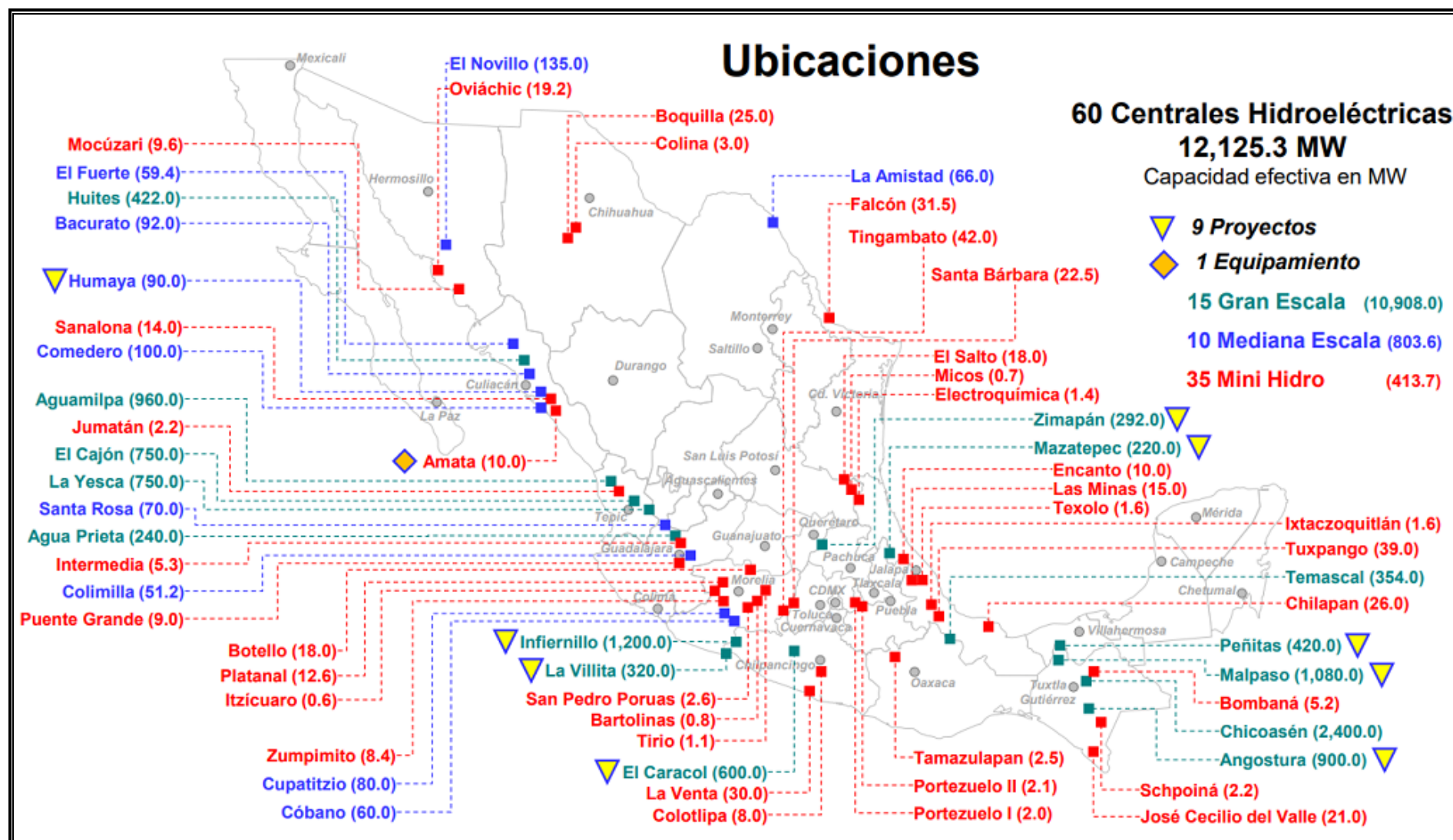


Ilustración 15 Ubicaciones de las 60 centrales hidroeléctricas de CFE. Fuente: CFE. Pronuarios de Centrales Hidroeléctricas junio 2021.

Las 60 centrales hidroeléctricas se clasifican en tres tipos: Gran escala, Mediana escala y Mini hidro; en la **Ilustración 16** se observa cuantas unidades de generación posee cada uno de los tres tipos, cual es la capacidad efectiva con la que disponen cada una de las tecnologías y cual es la generación bruta anual promedio producida por cada uno de los tres sectores.

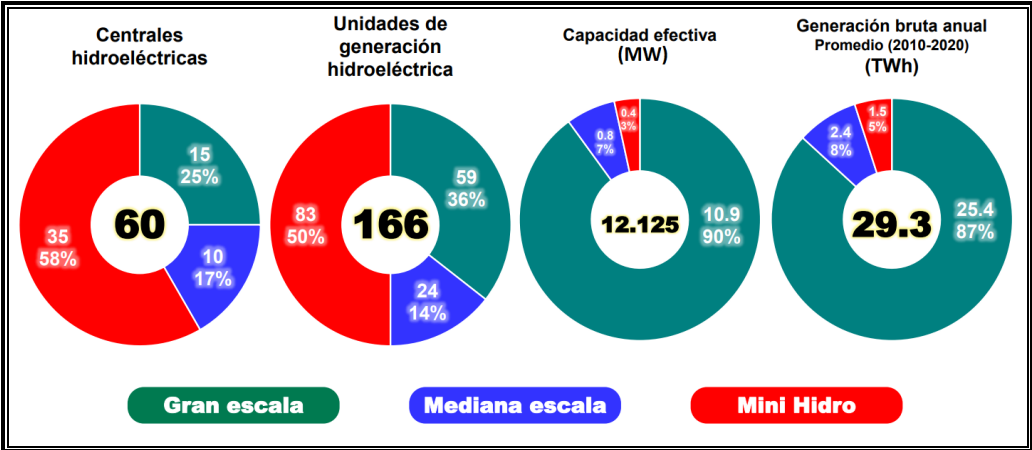


Ilustración 16 Clasificación y características de los tipos de centrales hidroeléctricas. Fuente: CFE. Prontuarios de Centrales Hidroeléctricas junio 2021.

CFE reportó que su generación neta en 2021 con base en energías limpias fue de 48,958 GWh, el mayor participante en este escenario fue la generación con energía **Hidroeléctrica con el 67.2%**, seguido de la Nucleoeléctrica con el 23.7%, y el resto 9.1% con las tecnologías Geotérmica-eléctrica, Eólica y Fotovoltaica, como se observa en la **Tabla 6**. La participación de estas resalta la fortaleza del sistema Hidroeléctrico, el cual aporta de manera significativa y en poco tiempo, respondiendo ante las necesidades como un Condensador Síncrono.

Tabla 6 Generación neta en 2021 con base en energías limpias. Fuente: CFE. Informe Anual 2021.

Tecnología	Generación Neta (GWh)	Aportación de Generación (%)
Hidroeléctrica	32,902	67.20
Nucleoeléctrica	11,606	23.70
Geotermoeléctrica	4,358	8.90
Eólica	84	0.17
Fotovoltaica	8	0.016

La Administración del periodo pasado (2012 - 2018), elaboró un documento llamado “**Prospectiva de Energías Limpias Renovables**” realizada por la SENER que comprende el periodo de 2018-2032 y que indicaba que la capacidad instalada para la energía hidroeléctrica se incrementaría un 1.2% anual en promedio, para ubicarse en 14,856 MW. Asimismo, entre el 2019 y 2032, se preveía que se adicionarían 47 nuevas centrales de generación hidroeléctrica a las ya existentes, con un total de capacidad adicional de generación de 2,213 MW, como se observa en la **Ilustración 17**. La Administración actual (del periodo 2018 - 2024), a su vez, elaboró el

documento “**Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT)**” realizada por el CENACE para el periodo del 2022-2036, en el cual indica que se establecieron tres escenarios que consideran diversos factores para la prospectiva del ámbito energético mexicano: **escenario 1** se considera una capacidad instalada total de 239,731 MW donde el porcentaje de la tecnología hidroeléctrica será del 7.4%, para el **escenario 2** se considera una capacidad instalada total de 255,614 MW donde el porcentaje de la tecnología hidroeléctrica será del 7.0% y para el **escenario 3** se considera una capacidad instalada total de 276,383 MW donde el porcentaje de la tecnología hidroeléctrica será del 6.4%, todos los escenarios se estimaron para el año 2050.

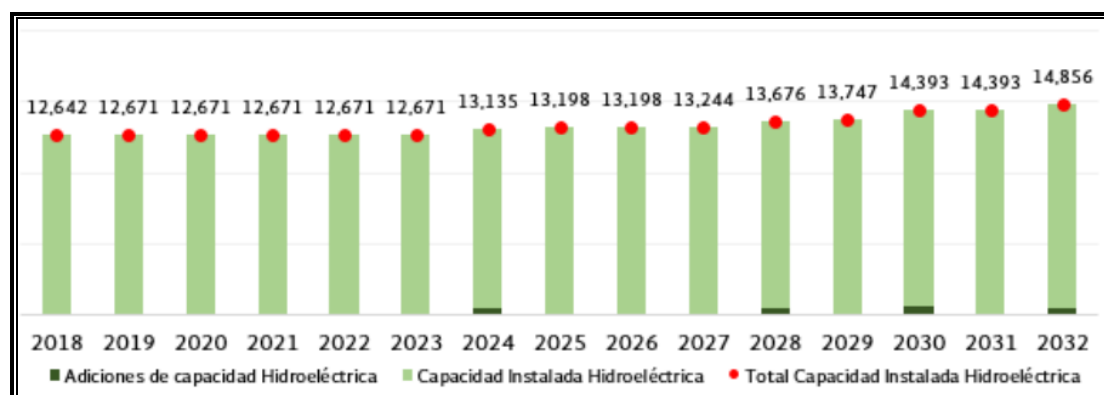


Ilustración 17 Prospectiva de la evolución de las adiciones de capacidad y la capacidad instalada de tecnología hidroeléctrica en México, 2018-2032 (MW). Fuente: SENER. Prospectiva de Energías Limpias Renovables 2018-2032.

La Administración actual (periodo 2018 - 2024) puso en marcha un Programa Integral de Rehabilitación y Modernización de Centrales Hidroeléctricas con el objetivo de la sustitución y remplazo de los equipos electromecánicos y auxiliares como son: las turbinas, generadores eléctricos, rodetes, transformadores de potencia, sistemas de enfriamiento, sistemas de control, entre otros; cambiándolos por equipos modernos, eficientes y de última tecnología, con el propósito de atender la problemática en aquellas unidades generadoras que presentaban un determinado nivel de obsolescencia, baja confiabilidad y reducción de su vida útil reducida. Por lo tanto, las Centrales Hidroeléctricas que entraron en este Programa de modernización y Repotenciación son las siguientes: **C.H. La Villita**, **C.H. Infiernillo**, **C.H. Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapan)**, **C.H. Humaya**, **C.H. Ángel Albino Corzo (Peñitas)**, **C.H. Mazatepec** y **C.H. Malpaso**, que se encuentran ubicados en los estados Michoacán, Guerrero, Hidalgo, Sinaloa, Puebla y Chiapas. Posteriormente en la **Ilustración 18** se puede observar la etapa de desmontaje que se está realizando en la Central Zimapan para repotenciación, donde se aprecia la extracción del rotor del equipo turbo generador de una de las dos unidades que comprende a la central.

“Este proyecto permitirá incrementar la capacidad de generación total en 113 M, así como mejorar la eficiencia en un 6% promedio respecto a la situación actual y tener un mayor factor de planta, lo que contribuirá a incrementar la generación de electricidad en 1,426 GWh al año. Otros beneficios importantes de este proyecto, es que una vez culminada las etapas de Remodernización y Repotenciación, se tendrá una extensión de la vida útil de dichas centrales, también un mejor control de avenidas que permitirán brindar mayor seguridad tanto a la población como a la infraestructura física y económica aguas abajo.”⁹

⁹ CFE, Boletín de Prensa del 3 de agosto de 2023 (CFE-BP-96/23vf). Página: 2



Ilustración 18 Repotenciación del rotor del equipo turbo generador de una de las dos unidades de la Central Hidroeléctrica Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán). Fuente: CFE Generación I.

1.3. Antecedentes del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en México.

En todo el mundo hay un ambiente de volatilidad en los energéticos, ante esta situación, las energías renovables se han convertido en una opción favorable; aprovechando la creciente demanda por energéticos más limpios y confiables, por lo que se han posicionado estratégicamente en la prospectiva de las Energías Limpias. En 2015, México enfrentó retos derivados de la implementación de la Reforma Energética, como fueron establecer las regulaciones e instituciones necesarias para llevar a cabo la transición energética que requería el país. La razón de estos cambios era pasar de un modelo basado en energías fósiles, a un modelo diversificado con más energías limpias y una mejor gestión de consumo energético.

En este tema se abordará la prospectiva que tiene la energía fotovoltaica en México, de igual forma se considerarán los documentos mencionados en el tema “**2.2. Antecedentes del aprovechamiento de la energía solar hidroeléctrica en México**”; la tecnología de generación con base en energía solar es de las más difundidas en cuestión de energías limpias y renovables junto con la eólica; sin embargo, contrasta con su eficiencia de generación eléctrica. A pesar de que existen distintas modalidades de este tipo de energía (fototérmicos y los fotovoltaicos), el problema central es su costo (el costo por central fotovoltaica es de 671 Dólares/kW bruto instalado, datos obtenidos del **COPAR 2020**) que se ve menguado por su factor de planta que ronda en el valor del 25%.

En la **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica** del año 1992, estable en el artículo 36 que se otorgarán permisos de autoabastecimiento, de cogeneración, de producción independiente, de pequeña producción o de importación o exportación de energía eléctrica, pero no fue hasta el 2007 que se dio el apogeo de las energías limpias con base a la reforma energética, permitiendo a los privados (usuarios residenciales, comerciales e industriales) generar su propia electricidad mediante sistemas solares, con la posibilidad de intercambiar flujos en la Red General de Distribución. A este sistema se le llama *Generación Distribuida*, en donde la producción de electricidad se lleva a cabo en instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación y están conectadas directamente en las redes de distribución, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. Cabe señalar que la entrada en operación conectada al SEN de la primera central fotovoltaica de gran escala fue en 2011.

La manera de medir el potencial de energía solar en un área territorial, es a través de la irradiación solar. La Agencia Internacional de Energías Renovables (**IRENA**) (2015), informa que México se encuentra entre las latitudes 15° y 35°, por lo que esta región es considerada la más favorecida en cuestión de recurso solar. Cuantificando, se recibe diariamente un promedio de 5.5 kWh/m² (la unidad de medición de irradiación solar). En la **Ilustración 19** se observa que el noroeste del país es la zona con mayor potencial para la instalación de centrales fotovoltaicas, ya que la radiación excede los 8 kWh/m² en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica que la empresa CFE tendrá que ser ingeniosa para volver este reto en oportunidad para tener la infraestructura para la transmisión de la energía.

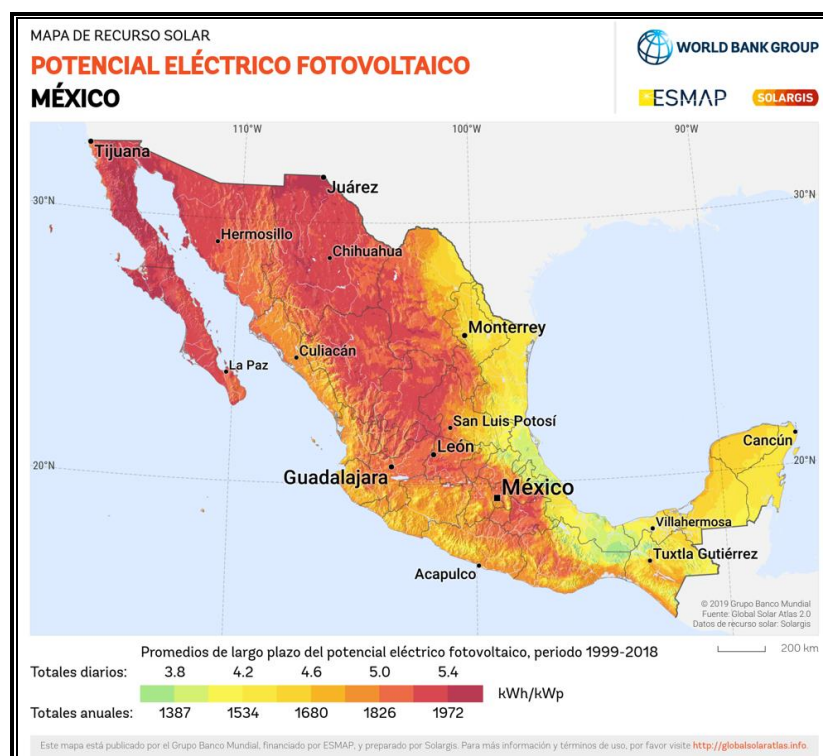


Ilustración 19 Niveles de irradiación solar en México. Fuente: Solargis.

1.3.1. Panorama actual de la generación Fotovoltaica en México.

Como ya se mencionó anteriormente, México cuenta con un alto potencial de aprovechamiento de energía fotovoltaica, ya que tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una irradiación media del orden de los 5.5 a los 3 kilowatts-hora por metro cuadrado (KWh/m²) al día, la irradiación promedio diaria cambia a lo largo de la república y depende también del mes en cuestión, como se observa en la **Ilustración 20**; lo que representa más del doble del promedio de lo que posee Estados Unidos. Sin embargo, aunque esta tecnología ya está en una etapa madurez avanzada, no se ha desarrollado por completo en México. Si bien los módulos fotovoltaicos son relativamente simples, su fabricación requiere de tecnología sofisticada que solamente está disponible en países como Estados Unidos, Alemania, Japón, China y España, entre otros.

La distribución de la irradiación solar en el país contempla la cantidad promedio de días despejados y nublados para cada región; así se tiene que el noroeste y norte del país, que son los estados de Sonora, Chihuahua y Baja California presentan la mayor irradiación solar, la cual va disminuyendo hacia la altiplanicie, siendo más notoria la reducción en el sureste y en la costa del Golfo de México por la frecuencia de días nublados que tiene esta zona, como se observa en la **Ilustración 19**.

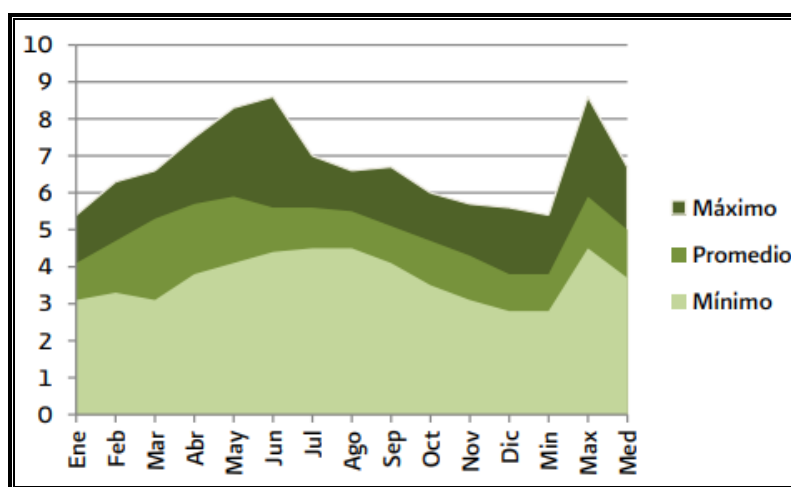


Ilustración 20 Intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México (kWh/m²). Fuente: SENER. Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026.

En el 2019 se reportaron ante la **SENER** y **CENACE** 63 centrales de generación con energía solar fotovoltaica, éstas se encuentran distribuidas en los distintos estados de la República Mexicana: 11 en Chihuahua, 3 en Baja California, 3 en Baja California Sur, 10 en Sonora, 3 en San Luis Potosí, 4 en Jalisco, 8 en Durango, 1 en Zacatecas, 1 en Hidalgo, 4 en Guanajuato, 4 en Coahuila, 5 en Aguascalientes, 1 en Querétaro, 1 en Tlaxcala, 2 en el Estado de México y 2 en Yucatán. De las cuales sólo dos son propiedad de CFE; Cerro Prieto y Santa Rosalía, las demás son propiedad de privados; en la **Ilustración 21** se observa la ubicación de centrales fotovoltaicas, en cuadro azul, esto es el resultado de las dos subastas eléctricas del 2018 y 2019. Posteriormente al año 2019 la Administración actual (periodo 2018 - 2024) canceló tanto las Subastas Eléctricas como las Rondas Petroleras, por lo que no hay registro actualizado de nuevas centrales fotovoltaicas provenientes de empresas privadas.

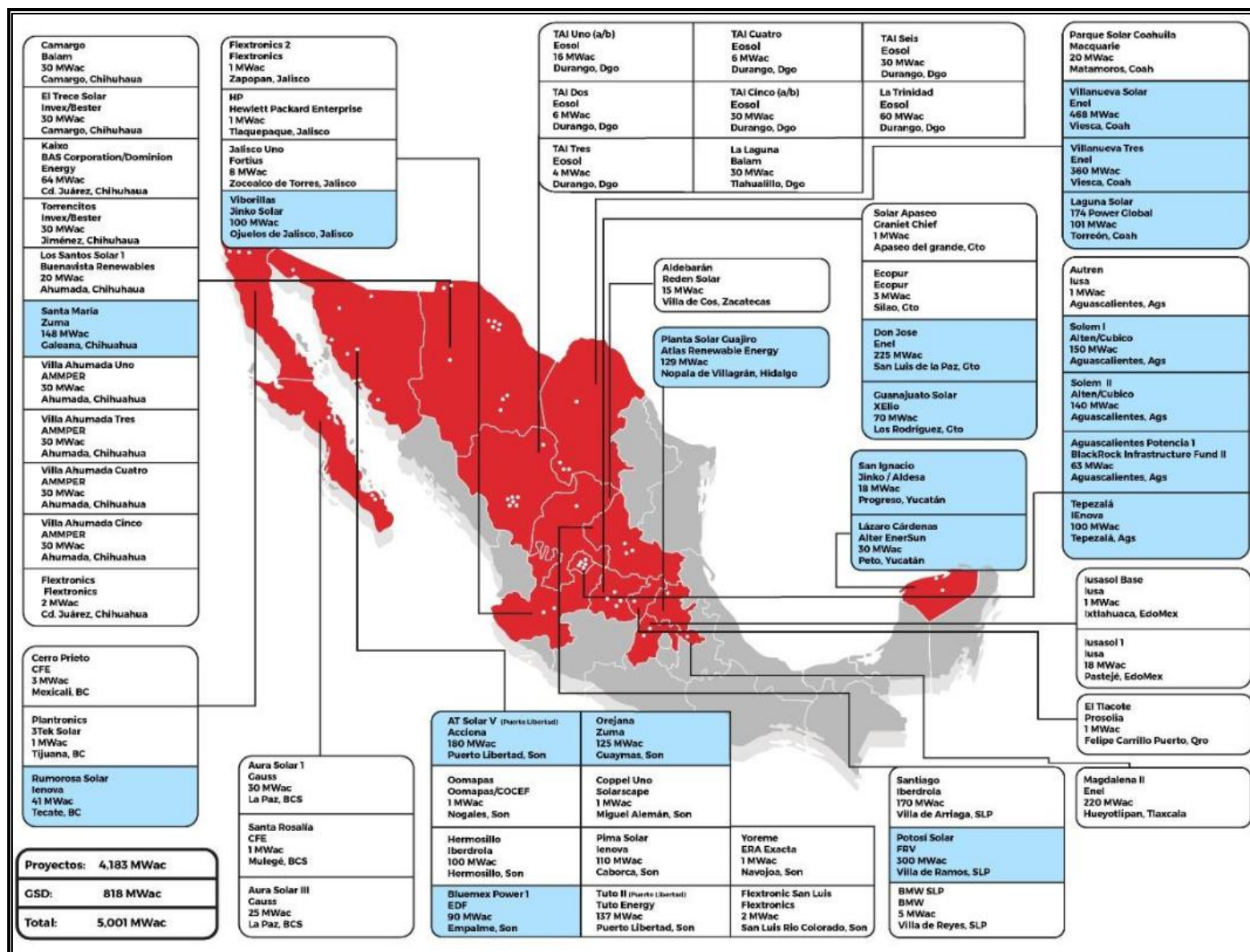


Ilustración 21 Ubicación de las 63 Centrales Solares en Operación Comercial, elaborado por ASOLMEX con datos de la CRE y CENACE.

La CFE reportó en su Informe Anual 2021 que contó con un parque de generación de 161 Centrales asignadas a cinco **Empresas Productivas Subsidiarias de Generación (EPS)**, que es el total de los **SNNR** y 33 Centrales **de Productores Externos de Energía (PEE)** y una Central Nuclear; con un total de 998 unidades Generadoras y una Capacidad Bruta Efectiva total de 59,560.596 MW, como se aprecia en la **Tabla 7**, resaltando que del gran parque de generación que almacena la CFE sólo contiene dos Centrales Fotovoltaicas.

Tabla 7 Infraestructura de la generación por tipo de tecnología. Fuente: CFE. Informe Anual 2021.

Tecnología	Numero de		Capacidad en MW
	Centrales	Unidades	Bruta Efectiva*
Hidroeléctrica	60	167	12,125.36
Vapor Convencional	21	58	10,047.60
Ciclo Combinado	20	84	10,271.53
Carboeléctrica	3	15	5,463.45
Turbogás	43	102	2,836.43
Geotermoeléctrica	4	27	918.08
Combustión Interna	5	29	360.82
Eoloeléctrica	3	8	85.70
Solar Fotovoltaica	2	2	6.00
Total, SNNR	161	492	42,114.97
Eoloeléctrica	6	410	612.85
Ciclo Combinado	27	94	14,378.5
PEE	33	504	15,837.62
CNLV	1	2	1,608
Total CFE (SNNR + CNLV)	162	494	43,722.9
Total, CFE (SNNR + PEE)	195	998	59,560.60

La Administración del periodo anterior (periodo 2012 - 2018), informó por medio de la SENER en el documento **“Prospectivas de Energías Renovable 2018 – 2032”**, que entre el 2018 y 2021, se adicionarían 7,365 MW de nueva capacidad con energía solar fotovoltaica y termosolar, equivalente a 66 centrales de generación de las 88 programadas para el periodo de planeación. La capacidad instalada de generación eléctrica con tecnologías solar fotovoltaica y termosolar crecería a un ritmo de 13.5% anual, el mayor crecimiento esperado para las energías renovables, como se observa en la **Ilustración 22**. La Administración actual (del periodo 2018 - 2024) informó por medio del CENACE en el documento **“PAMRNT del 2022-2036”**, que se establecieron tres escenarios en los cuales consideran diversos factores para la prospectiva del ámbito energético en México: **escenario 1** se considera una capacidad instalada total de 239,731 MW donde el porcentaje de la tecnología fotovoltaica será del 17.2%, para el **escenario 2** se considera una capacidad instalada total de 255,614 MW donde el porcentaje de la tecnología fotovoltaica será del 17.8% y para el **escenario 3** se considera una capacidad instalada total de 276,383 MW donde el porcentaje de la tecnología fotovoltaica será del 17.5%, todos los escenarios se estimaron para el año 2050.

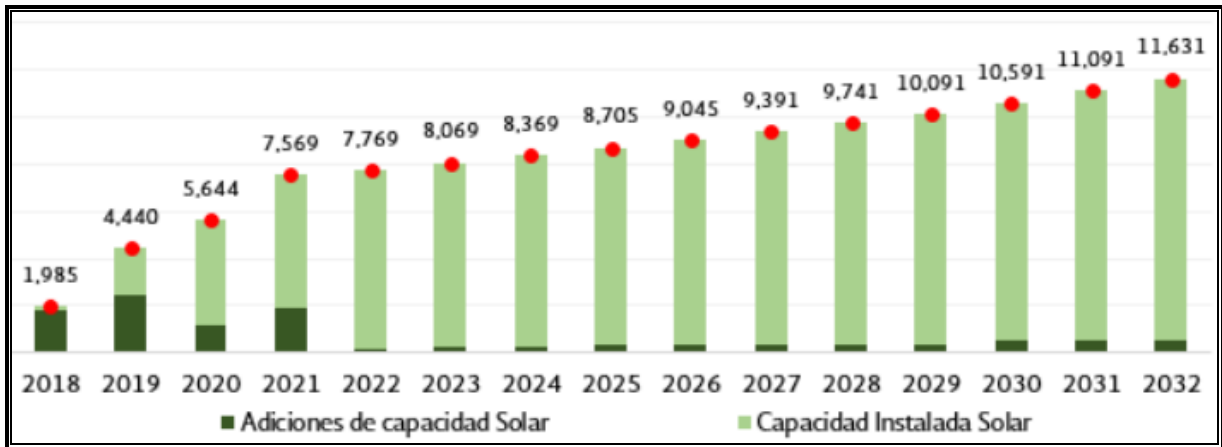


Ilustración 22 Prospectiva de la evolución de las adiciones de capacidad y la capacidad instalada de tecnología solar fotovoltaica y termosolar en México, 2018-2032 (MW). Fuente: SENER. Prospectiva de Energías Limpias Renovables 2018-2032.

La CFE inauguró el 20 de febrero del 2023, la primera etapa de la Central Fotovoltaica “**Puerto Peñasco**”, se puede apreciar la central en **Ilustración 23**, que está ubicada en el desierto de Sonora, esta central fue desarrollada y pertenece a la CFE. La central está construida en una superficie de 2,000 hectáreas, por lo que será la más grande de América y la quinta a nivel mundial. CFE informa que la capacidad de la central será de 1,000 MW con 192 MW en baterías de respaldo y tendrá tecnología de punta en sus módulos fotovoltaicos, capacidad de almacenamiento, sistema de condensadores síncronos, entre otros equipos.

El proyecto “**Puerto Peñasco**” es modular, esto se refiere a que se culminará por etapas; la primera etapa que esta puesta en operación cuenta con una capacidad de 120 MW, más 12 MW con baterías como respaldo.



Ilustración 23 Central Fotovoltaica Puerto Peñasco. Fuente: El País. López Obrador inaugura la central fotovoltaica de Puerto Peñasco, el proyecto verde más ambicioso de su Administración.

Con este último hecho de la inauguración de la Central Fotovoltaica “Puerto Peñasco”, CFE aumenta su infraestructura de generación solar, por lo cual cuenta actualmente con 3 centrales fotovoltaicas, como se aprecia en el mapa de la **Ilustración 24**, las centrales son las siguientes:

1. Central fotovoltaica Santa Rosalía.
2. Central fotovoltaica Cerro Prieto.
3. Central fotovoltaica Puerto Peñasco.

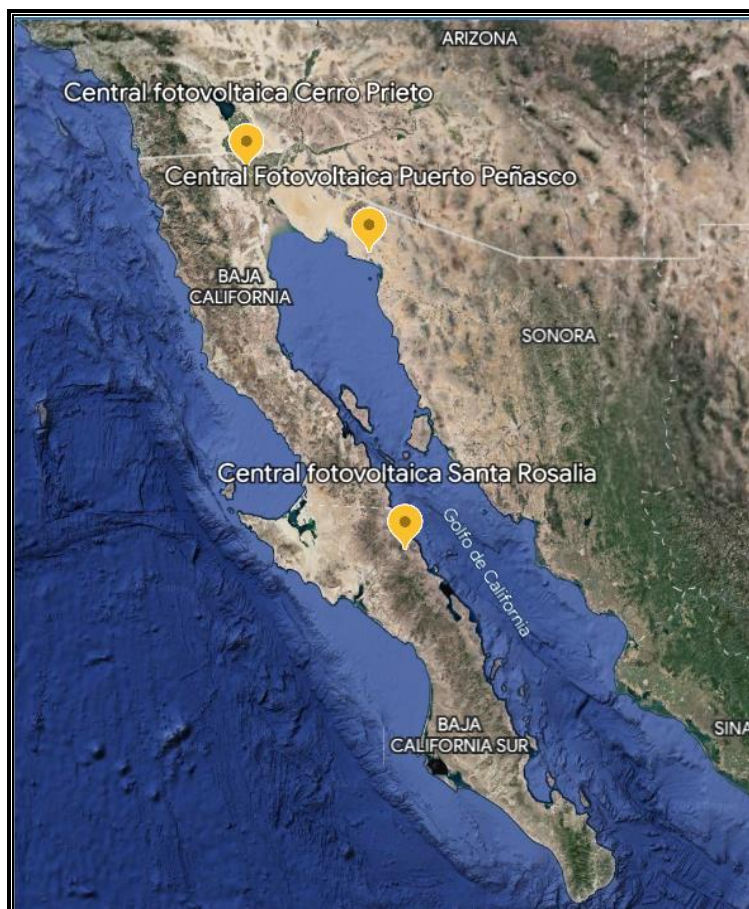


Ilustración 24 Centrales Fotovoltaicas pertenecientes a CFE. Fuente propia utilizando el software Google Earth.

En el siguiente capítulo se hará un resumen de varios documentos normativos oficiales mexicanos en materia del Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica, analizando cuáles son las obligaciones que deben de cumplir los Participantes del Mercado (Generador) y junto con las Centrales Eléctricas que estos representan ante la **Comisión Reguladora de Energía (CRE)** y considerar si estas mismas obligaciones se pueden expandir para la tecnología fotovoltaica flotante. Los documentos que se estudiarán por mencionar algunos son: Ley de la Industria Eléctrica, Ley de Transición Energética, el Código de Red, Manuales de Operación del Mercado Eléctrico Mayorista, entre otros. El capítulo 2 tiene como objetivo vincular los proyectos de sistemas híbridos, con las normas oficiales mexicanas con las que se planea identificar y establecer los lineamientos necesarios que se deben de cumplir al momento de la instalación y operación de los sistemas FPV.

2. Aspectos regulatorios para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos flotantes en México.

El objetivo de la regulación es la emisión de reglas por parte del Estado, con la finalidad de proteger aspectos sociales, económicos y técnicos, que a su vez buscan el bienestar de la población. En este capítulo de la tesis se abordarán los aspectos regulatorios de la Industria Eléctrica que se encuentran vigentes en México, los cuales serán necesarios tomar en cuenta para garantizar que los sistemas fotovoltaicos flotantes tengan un funcionamiento eficiente, generando certeza jurídica en este tipo de sistemas y así mismo asegurar los derechos de propiedad, así como también evitar daños a la salud de la población, a la fauna y flora, esto con el objeto de evitar afectaciones al medio ambiente.

El marco regulatorio se refiere al conjunto de leyes, reglamentos, disposiciones administrativas, normas oficiales mexicanas, entre otras, que proporcionan las bases sobre las cuales las instituciones del Estado construyen y regulan un determinado ámbito de la actividad social o económica.

Una Ley es una declaración de la voluntad soberana manifestada en la forma prescrita por la Constitución, manda, prohíbe, o permite hechos y situaciones de la convivencia humana en sociedad, marcando derechos y obligaciones tanto para el ente al que la Ley regula, así como para la o las personas que caen en los supuestos de ella. Un Reglamento es un conjunto de reglas o normas emitido por las autoridades pertinentes, que regulan un sector en concreto, por lo que es una técnica legislativa que desarrolla en profundidad otras leyes, de manera que un reglamento es una norma más dentro de todos los tipos de normas que existen en el campo jurídico. Las Normas son una guía para reconocer el comportamiento aceptable en un ámbito determinado, por lo que varían según el contexto.

Realizando un breve resumen, una Ley emite regulaciones de carácter general, mientras que un Reglamento, establece y define las formas, de manera concreta, la forma en que se materializará el precepto legal contenido en la Ley y tanto una Norma como una Ley, hacen referencia a lo establecido por las autoridades con el objeto de regular las relaciones sociales, pero, sin embargo, la ley, en sentido estricto, es un tipo de norma jurídica. El Catálogo Mexicano de Normas es revisado y actualizado permanentemente conforme a las publicaciones relativas a las Leyes, Reglamentos, **NOM** y **NMX** que se notifican a través del Diario Oficial de la Federación, como son: Declaración de vigencia, proyectos de normas, cancelaciones, modificaciones y respuestas a comentarios.

Las **Normas Oficiales Mexicanas (NOM)** son regulaciones técnicas de cumplimiento obligatorio, expedidas por las dependencias competentes, las cuales tienen como finalidad establecer las características que deben reunir los procesos o servicios, cuando éstos puedan constituir un riesgo para las personas, animales y vegetación, así como el medio ambiente en general, entre otros.

Las **Normas Mexicanas (NMX)** son elaboradas por un organismo nacional de normalización. Establecen los requisitos mínimos de calidad de los productos y servicios, con el objetivo de proteger y orientar a los consumidores. Su aplicación es voluntaria, con excepción de los casos en que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas; cuando en una NOM se requiera la observancia de una NMX para fines determinados.

2.1. Marco regulatorio de la Industria Eléctrica.

Para este trabajo de investigación sólo se considera la parte del Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica que resulta aplicable a los proyectos de generación de energía eléctrica. Para este caso, el Marco Regulatorio está integrado por la **Ley de la Industria Eléctrica (LIE)**, su Reglamento y las demás disposiciones administrativas que de ellas emanan, como disposiciones administrativas de carácter general (e.g. **Código de Red**) y Reglas del Mercado Eléctrico Mayorista (**MEM**), como se muestra en la **Ilustración 25**. Conforme se vaya desarrollando este capítulo se hará una breve recopilación de información de todos los documentos legales que integran el Marco Regulatorio y que son aplicables a los Generadores y Centrales Eléctricas.

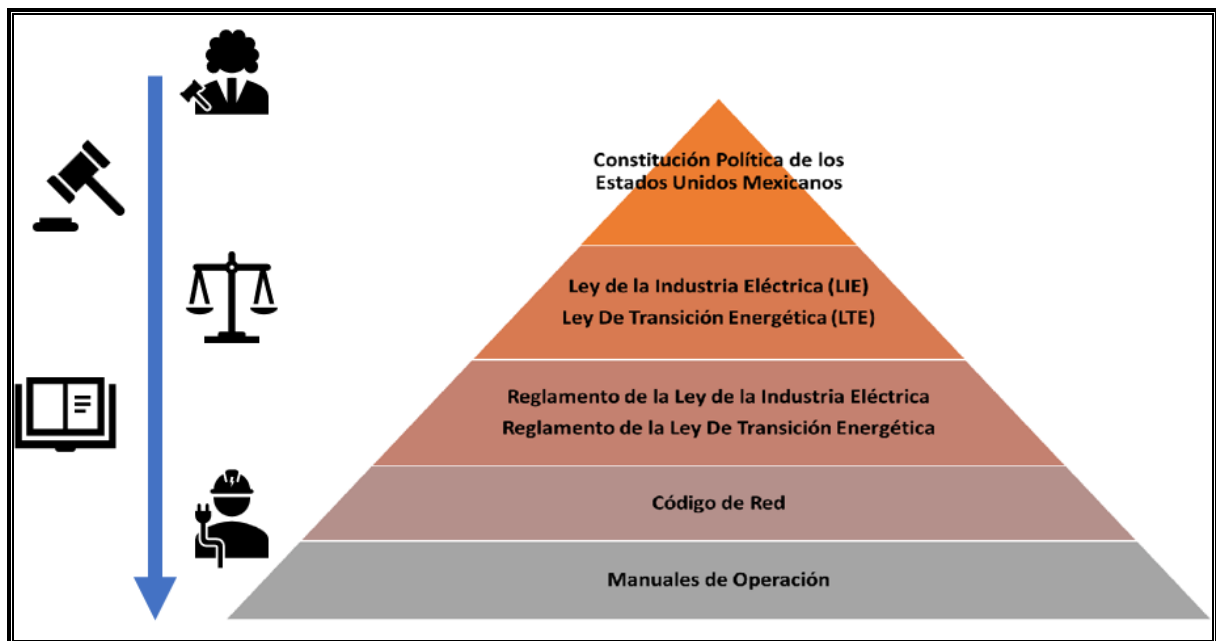


Ilustración 25 Prelación Jerárquica del Marco regulatorio de la Industria Eléctrica en México. Fuente propia.

En México, el marco legal que define la organización industrial del sector energético y las bases para su regulación está dado principalmente por lo que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en sus artículos 25 y 28. A continuación se muestra una breve semblanza de estos mismos, así como también de las leyes que se derivan o vinculan con dichas disposiciones:

- El **artículo 25** destaca que: *“Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución. Asimismo, podrá participar por sí o con los sectores social y privado, de acuerdo con la ley, para impulsar y organizar las áreas prioritarias del desarrollo.”*¹⁰.

¹⁰ Artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Reformado Primer y Sexto Párrafo, D.O.F. 5 De Junio De 2013), primer párrafo.

- El **artículo 28** enfatiza que: “Quedan prohibidos los monopolios, las prácticas monopólicas, los estancos, las condonaciones de impuestos y las exenciones de impuestos en los términos y condiciones que fijan las leyes. El mismo tratamiento se dará a las prohibiciones a título de protección a la industria. No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; minerales radiactivos y generación de energía nuclear; la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, y la exploración y extracción del petróleo y de los demás hidrocarburos. El Poder Ejecutivo contará con los órganos reguladores coordinados en materia energética, denominados Comisión Nacional de Hidrocarburos y Comisión Reguladora de Energía, en los términos que determine la ley.”¹¹.

2.2. Regulación aplicable a los sistemas de generación de energía limpia.

En un principio, el sector eléctrico de México estuvo formado por empresas privadas conformadas en su mayor parte por capital mexicano y, posteriormente por un número importante de empresas con capital extranjero hasta el año 1960, cuya operación estaba regulada por concesiones y posteriormente hasta principios de los noventa, se estableció una restricción importante a dicha participación, consolidándose un monopolio estatal a cargo de dos empresas públicas: **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** y **Luz y Fuerza del Centro (LFC)**. La CFE se creó, en la administración del presidente **Lázaro Cárdenas del Río** con el objetivo de organizar y dirigir el sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía y adecuarlo a las necesidades del desarrollo económico del país. Sin embargo, en 1992, el Congreso de la Unión aprobó una serie de modificaciones a la **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)**, la cual tenía como objeto que se estableciera un régimen de prestación del servicio público de energía eléctrica, lo que permitió una mayor participación del sector privado en la generación de energía eléctrica que no constituía como tal dicho servicio público. A partir de estas modificaciones, se estableció que los particulares podrían generar energía eléctrica no sólo para su propio consumo o para emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público.

Actualmente la ley que está en vigencia es **Ley de la Industria Eléctrica (LIE)** y su última reforma fue en el año 2022, que sustituyó a la **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)**. También a la par de la LIE, está en vigencia la **Ley de Transición Energética (LTE)**, que fue publicada por la SENER en el año 2015, la cual sustituyó a la **Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía** del año 2008. A continuación, se mostrarán los artículos de las Leyes y Reglamentos ya mencionados que abordan las obligaciones a las que están sujetas los generadores, con relación a las energías limpias.

¹¹ Artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Reformado Primer, Cuarto y Octavo Párrafo, D.O.F. 6 De Marzo De 2020) primer y cuarto párrafo.

2.2.1. Ley de la Industria Eléctrica.

Ley de la Industria Eléctrica (LIE) tiene como objeto regular la planeación y el control del SEN, el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y las demás actividades de la industria eléctrica; como también promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica garantizando la operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, comprometiendo a los participantes al cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes.

Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica, que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable son: **13, 17, 71, 117, 120, 121 y 135**, cuyo compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo.

2.2.2. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.

La LIE se apoya mediante el instrumento legal denominado Reglamento De La Ley De La Industria Eléctrica (**RLIE**), que fue publicado por la SENER en el año 2014, éste establece un conjunto de reglas y normas de forma más detallada a diferencia de la LIE, que son normas de carácter general.

Los **Artículos 17, 20, 26, 83, 84 y 87** que se mencionan en este reglamento son el complemento de los Artículos de la LIE mencionados anteriormente y su compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo. Estos detallan de forma más precisa cuáles son los procesos y actividades que deben seguir tanto los permisionarios como los proyectos de generación de energía eléctrica tratándose de centrales generadoras que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable como lo son los sistemas fotovoltaicos flotantes.

2.2.3. Ley de Transición Energética.

El objeto de la *Ley de Transición Energética (LTE)* es regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos, conforme a lo que indica el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Los **Artículos 6, 9, 65, 66, 67 y 68**, cuyo compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo, están en función de la Transición Energética del país con proyectos de generación de energía eléctrica, que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable; con base en estos Artículos la Ley instituye las Políticas Gubernamentales que establecen las estrategias que deben seguir los permisionarios y las Centrales Eléctricas para el cumplimiento de las metas del país en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética; todo ello a través de objetivos particulares que deben cumplirse a la par de la LIE y Reglas del Mercado Eléctrico Mayorista, para mantener la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del SEN.

2.2.4. Reglamento de la Ley de Transición Energética.

La LTE se apoya mediante el instrumento legal denominado *Reglamento de la Ley de Transición Energética (RLTE)*, que fue publicado por la SENER en el año 2017, éste establece un conjunto de reglas y normas de forma más detallada a diferencia de la LTE que son normas de carácter general. El **Artículo 16**, cuyo compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo, es el complemento de los Artículos de la LTE que fueron mencionados anteriormente, con la intención de detallar de forma más precisa cuáles son los procesos y actividades que debe realizar la SENER en colaboración con otras organizaciones gubernamentales, para darle seguimiento a la puesta en marcha de dichas normas para el cumplimiento de las metas del país en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética.

2.3. Participación en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Con la reforma energética, se creó el **Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)** con el objeto de proveer energía a precios competitivos para que todos los usuarios pudieran beneficiarse; en este mercado se compran y venden productos como Energía, Potencia, Certificados de Energía Limpia, Servicios Conexos y Derechos Financieros de Transmisión, como se muestra en la **Ilustración 26**. En otras palabras, se adquieren y comercializan todos los productos que se requieren para la operación óptima y confiable del SEN, la cual está a cargo del CENACE.

Los interesados en participar en el Mercado Eléctrico pueden acceder bajo seis modalidades, las cuales son: **1°** Generador, **2°** Usuario Calificado participante del Mercado, **3°** Suministrador de Servicios Básicos, **4°** Suministrador de Servicios Calificados, **5°** Suministrador de Último Recurso (Es un servicio que pueden presentar tanto Suministradores Básicos como Calificados) y **6°** Comercializador. Los cuales están obligados en cumplir los requisitos que marca la ley para ser Participantes del Mercado, por lo que para esta sección del capítulo se apoyará con los documentos oficiales emitidos por la SENER, los cuales son: El **Manual de Registro y Acreditación de Participantes del Mercado**, el **Manual de Medición para Liquidaciones** y el **Manual de Requerimientos de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para el SEN y el MEM (Manual de TIC)**, de estos documentos se abordan las obligaciones a las que están sujetas los Generadores y las Centrales Eléctricas.

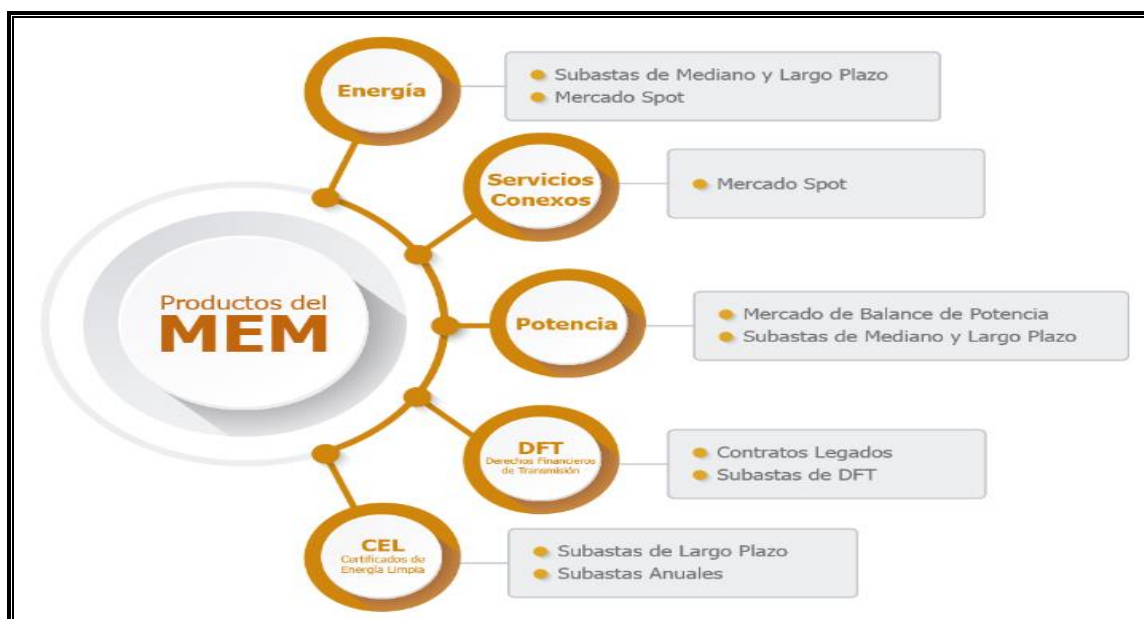


Ilustración 26 Productos que se ofrecen en el MEM. Fuente: CENACE. ¿Sabes qué es el Mercado Eléctrico Mayorista?

Los Manuales de Prácticas del Mercado son herramientas importantes ya que forman parte de las Disposiciones Operativas del Mercado y su objetivo es el desarrollar con mayor detalle los elementos de las Bases del Mercado Eléctrico y estableciendo los procedimientos, reglas, instrucciones, principios de cálculo, las directrices a seguir para la administración, operación y planeación del MEM.

El **Manual de Registro y Acreditación de Participantes del Mercado** establece los procedimientos, reglas e instrucciones que deberán seguir los interesados para estar registrados como Participantes del Mercado y acreditados por el CENACE para realizar transacciones en el MEM. El Manual establece que los **Participantes del Mercado (PM)** deberán presentar los datos, documentos, informes y demás información que la SENER, la CRE, el CENACE o el Monitor Independiente del Mercado les requiera, a efecto de llevar a cabo la comprobación de que han cumplido con las disposiciones contenidas en la Ley de la Industria Eléctrica, el Reglamento de la misma Ley, las Reglas del Mercado y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

El Generador es la modalidad en la que un Participante del Mercado representa ante el MEM a una o varias Centrales Eléctricas ubicadas en México o en el extranjero con interconexión directa al SEN o también a las Centrales Eléctricas con Contratos de Interconexión Legados si se trata del Generador de Intermediación. Un Generador participante del MEM debe realizar actividades que están enfocadas en la **“Compra y Venta de Energía”**, para ser más específicos debe presentar ofertas de venta de energía eléctrica y Servicios Conexos en el **Mercado del Día en Adelanto (MDA)** y en el **Mercado de Tiempo Real (MTR)**, también debe comprar y vender Potencia en el Mercado para el Balance de Potencia, que se derive de la capacidad de las Centrales Eléctricas que represente, asimismo debe programar Transacciones Bilaterales Financieras y de Potencia; por mencionar solo algunas de las actividades que debe realizar el Generador participante en el MEM ya que igualmente se deben incluir los **Certificados de Energía Limpia (CEL)** y Subastas Eléctricas de Mediano y Largo Plazo.

Los Candidatos a Participantes del Mercado deberán presentar una solicitud de registro ante el CENACE a través del Módulo de Registro en el portal del **Sistema de Información del Mercado (SIM)**, éste será el único medio para el registro de Participantes del Mercado. Para acceder a

dicho módulo, el Candidato a Participante del Mercado deberá completar exitosamente la fase de pre-registro, cabe resaltar que el proceso de registro es de al menos 86 días hábiles antes de la fecha de inicio de operaciones en el MEM, adicionalmente se deberá considerar el tiempo que toma el ciclo de actualización del Modelo de la Red Física y el Modelo Comercial de la Red; a continuación se muestra el diagrama (**Ilustración 27**) que explica el proceso que se debe seguir con su respectivo periodo de tiempo de demora para la obtención del permiso de inicio de operaciones en el Mercado.

Por lo que los Participantes del Mercado que representen entidades con Activos Físicos deberán cumplir con la obligación de registrar dichos activos ante el CENACE de conformidad con los términos y procedimientos que se establecen en el presente Manual. Por tanto, es obligación de todas las Unidades de Centrales Eléctricas con interconexión al SEN, que a la entrada en operación del Mercado de Corto Plazo se tengan que registrar, aun en el caso de que exista una solicitud previa para su retiro. La solicitud de Registro se deberá completar con la Carga de Información en el SIM con la siguiente documentación: **A) Permiso de Generación otorgado por la CRE** (Las Centrales Eléctricas de cualquier tamaño representadas por un Generador en el MEM requieren el permiso otorgado por la CRE para generar energía eléctrica en el territorio nacional); **B) Contrato de Interconexión de la Central Eléctrica**; y **C) Acreditación de la propiedad de la Central Eléctrica** o en caso de que el Participante del Mercado no sea el permisionario de la Central Eléctrica (Acuerdo suscrito entre el PM y el permisionario de la Central Eléctrica en el cual se autorice al PM a actuar como representante de dichos Activos Físicos en el MEM), es importante señalar que también se deberán registrar los parámetros de referencia y parámetros técnicos de la Central Eléctrica y de las Unidades de Central Eléctrica cuando se realice el primer registro de una de sus Unidades. Para mayor especificación sobre cada uno de los procesos y requerimientos que deben cumplir tanto el Generador como la Central Eléctrica consulte de forma más detallada el Manual junto a sus respectivos Anexos.

Es indispensable que cada Participante del Mercado cuente con un **escritorio de atención 24/7**, el cual va a operar los 365 días del año y las 24 horas del día, con el fin de tener disponible a personal calificado que atienda de manera oportuna todas las situaciones que se pudieran presentar durante el desarrollo de las operaciones de mercado, por lo que deberá existir comunicación directa de voz y datos entre el CENACE y el escritorio 24/7 del PM. Es importante resaltar que el participante debe tener un **Plan de Emergencia** aprobado por el CENACE, en donde deberá contener al menos la siguiente información: **A) Envío de ofertas** (Los métodos alternos para remitir ofertas o recibir instrucciones del CENACE ante pérdida de los medios principales de comunicación); **B) Emisión de estados de cuenta** (Confirmación de recepción de ofertas/estados de cuenta); **C) Información de contactos ante emergencias**; y **D) Pruebas de comunicaciones de voz y datos de las Centrales Eléctricas**. El CENACE le realizará simulacros al PM para acreditar que su Plan de Emergencia sea el adecuado, por lo tanto, el personal que opere el escritorio de atención 24/7 será el encargado de atender los requerimientos e instrucciones del CENACE en la ejecución de los simulacros.

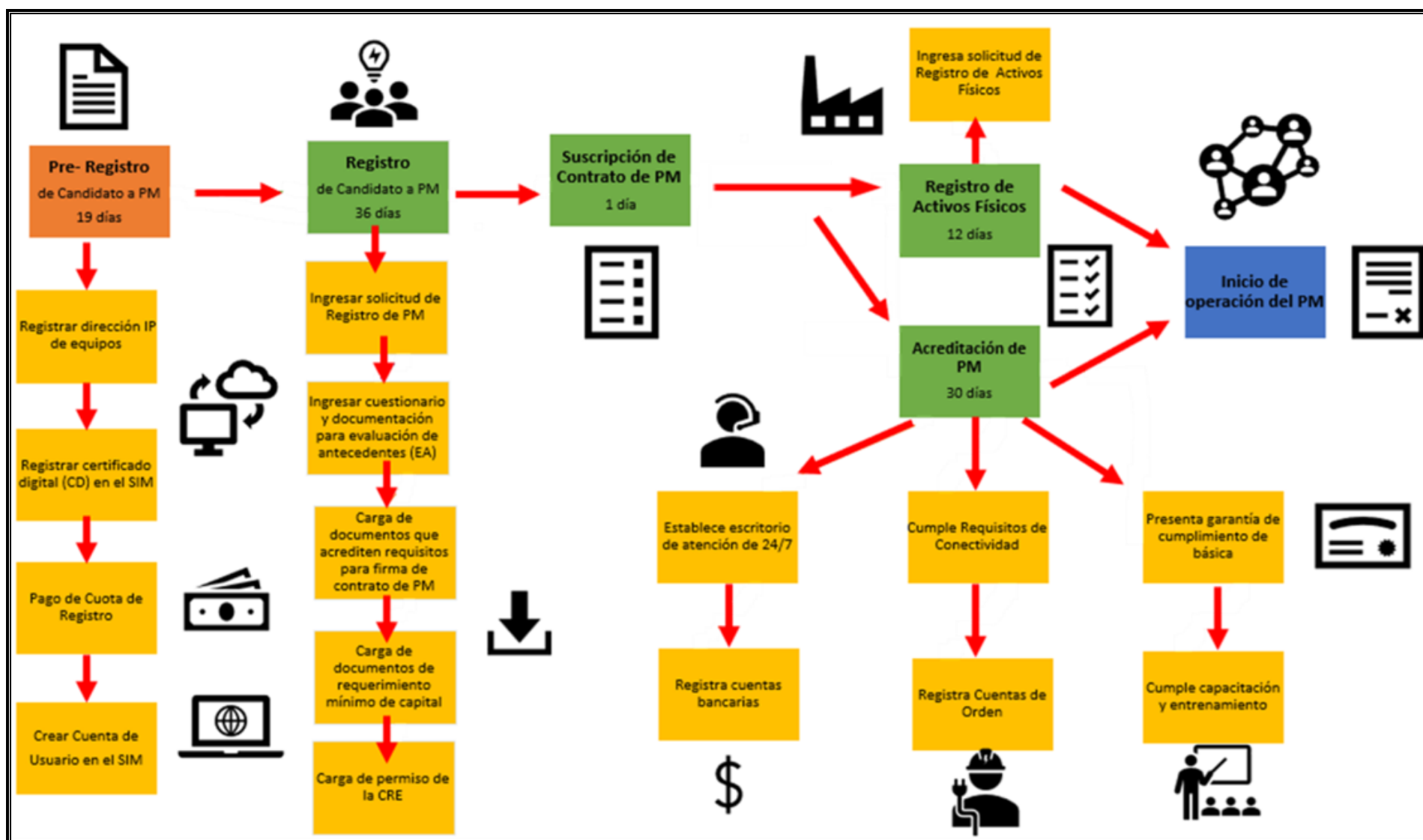


Ilustración 27 Procesos que debe realizar un Generador para iniciar operaciones en el Mercado Eléctrico Mayorista. Fuente propia con información recabada del *Manual de Registro y Acreditación de Participantes del Mercado*.

El **Manual de Medición para Liquidaciones** establece los requerimientos de los Sistemas de Medición necesarios para registrar las transacciones de energía de los participantes del MEM, como los Usuarios de Transmisión o Distribución, Transportistas y Distribuidores, así como para la adquisición, procesamiento y envío de registros de la información de medición de la energía para el proceso de liquidación de intercambios.

Las Centrales Eléctricas deben contar con un Sistema de Medición en cada uno de sus Puntos de Interconexión como lo dispuesto en este Manual, en el Manual de TIC y en las normas oficiales mexicanas aplicables, por lo que las Centrales deben garantizar que el Transportista o Distribuidor responsable de la medición tenga acceso a los lugares físicos donde se ubiquen los elementos del Sistema de Medición, para la realización de las actividades relacionadas con la instalación, operación, mantenimiento, modernización y sustitución de los mismos (Debe existir un medidor principal y un medidor de respaldo, para que en el caso de realizarse algún mantenimiento o que exista una falla que afecte al Medidor principal, prevalezca el medidor de respaldo). Cabe resaltar que por ningún motivo las Centrales Eléctricas pueden alterar los Sistemas de Medición ni manipular los Registros de medición.

Los Sistemas de Medición están compuestos por el programa informático correspondiente, así como por las instalaciones y equipos de medición eléctrica como lo son: transformadores de instrumentos, medidores, Sistema de sincronía de tiempo y Sistema de comunicaciones que son los que permiten transmitir o recibir la información de la medición para ponerla a disposición del CENACE.

Si los representantes de las Centrales Eléctricas en el Mercado desean tener acceso al medidor para adquirir los registros de medición para liquidaciones, deberán solicitarlo por escrito al Transportista o Distribuidor, el acceso a los medidores será sólo para lectura de los registros de medición y siempre a través de un puerto de comunicaciones independiente del puerto al que se conecte el Transportista o Distribuidor para la extracción de los registros de medición, y a través de un medio o red de comunicaciones independiente del medio o red de comunicaciones que utilicen el Transportista o Distribuidor.

El **Manual de Requerimientos de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para el SEN y el MEM**, el contenido de este Manual está alineado con el Código de Red, las Bases del Mercado Eléctrico, los manuales de prácticas del mercado, las disposiciones administrativas de carácter general y las normas oficiales mexicanas. El Manual establece las responsabilidades del CENACE, el Transportista, el Distribuidor, la Central Eléctrica y el Centro de Carga que deben cumplir con la Telemetría en Tiempo real, así como para la transferencia de voz y datos, con calidad de la información, con respecto a la puesta en servicio, operación y mantenimiento de las TIC relacionadas con el Control Operativo del SEN y con la operación del MEM; como también establece los requisitos mínimos de la infraestructura de TIC necesaria para el Control Operativo del SEN y la operación del MEM, incluida la medición para liquidaciones.

La Central Eléctrica o su representante en el MEM debe proveer los elementos de TIC del sistema de medición necesarios para que el Transportista y/o Distribuidor pueda adquirir los registros de medición provenientes del Medidor para Liquidaciones. Toda Central Eléctrica con capacidad mayor a 0.5MW o que sea menor a 0.5 MW directamente modelada debe implementar la infraestructura necesaria para las comunicaciones y de esta forma cumplir con lo indicado en el Manual y sus anexos, esto servirá para establecer la interfaz de comunicación de voz y datos hacia el CENACE para el Control Operativo del SEN y la operación del MEM, en otras palabras las Centrales Eléctricas deben contar con Telemetría en tiempo real de forma directa la cual debe estar disponible en todo momento para el CENACE.

A continuación se muestran de forma específica los criterios que deben de cumplir las Centrales, las cuales se dividen en dos categorías, la primera es, la *Infraestructura requerida para el Control Operativo del SEN y Operación del MEM*, y la segunda es, la *Infraestructura requerida para la Medición para Liquidaciones*.

Infraestructura requerida para el Control Operativo del SEN y Operación del MEM:

- a) Se requiere de un equipo que proporcione señales, mediciones en MW, MVar, kV y con instrucción para interfaz lógica en Tiempo Real, como lo es **UTR** (Unidad Terminal Remota) el cual es un dispositivo remoto con la capacidad funcional de adquirir señales independientes de una instalación para su envío a la **UTM** (Unidad Terminal Maestra) que es un elemento central con la capacidad funcional de adquirir y procesar datos, almacenar datos históricos y realizar actividades de control, provenientes de Dispositivos Remotos.
- b) Se requiere de la Comunicación de voz (línea comercial o radiocomunicación) de uso exclusivo para comunicarse con el CENACE, por lo que las Centrales Eléctricas tipo C y D, que sean despachables deben contar con un medio de comunicación de telefonía IP, para lo cual deben implementar un enlace troncal de telefonía IP entre el servidor de telefonía de la Central Eléctrica y el servidor de telefonía IP que el CENACE designe.
- c) Requiere de un medio de comunicación primario (para telefonía IP y/o datos), esto debe estar basado mediante un sistema de radiofrecuencia o un canal privado (arquitectura multiprotocolo de conmutación de paquetes), como podría ser la tecnología IP-MPLS o cualquiera similar y debe cumplir con lo indicado en este Manual.
- d) Requiere de un medio de comunicación de respaldo, debe estar basado en una arquitectura multiprotocolo de conmutación de paquetes (de la misma forma que el medio de comunicación primario), como podría ser la tecnología IP-MPLS o cualquiera similar, debe cumplir con la disponibilidad indicada en el manual, y se debe implementar hacia una Gerencia de Control Regional diferente a la Gerencia de Control Regional hacia donde se implementó el medio de comunicación primario.
- e) Se debe contar con un Ancho de Banda para los medios de comunicación primario y de respaldo, debe de ser al menos 128 Kbps por cada equipo de Telemetría en Tiempo real, por lo que es factible integrar en una sola conexión hacia el CENACE la información de uno o más medios de comunicación que correspondan a las Centrales Eléctricas de un mismo Generador, siempre que la información de cada Central Eléctrica hacia el sistema SCADA se mantenga separada. El ancho de banda debe ser al menos 64 Kbps hacia el centro de control del Distribuidor, por cada Central Eléctrica.
- f) Se debe contar con equipo para sincronía de tiempo, deberá ser el mismo equipo para sincronía de tiempo tanto para efectos del Control Operativo como para efectos de la operación del MEM, incluida la medición para liquidaciones. El equipo debe cumplir con lo señalado en la norma oficial mexicana aplicable.
- g) Se debe contar con una Unidad de Medición Fasorial (**PMU**, por sus siglas en inglés) para llevar a cabo el Control Operativo del SEN, en caso de ser requerido se definirá en el estudio de instalaciones contemplado en el Manual, si se determina que es

necesaria, no se podrá exigir más de una PMU a la Central y esta será responsable de la instalación y mantenimiento del PMU.

- h) Se debe contar con un Registrador de disturbios, se requiere sólo en Centrales Eléctricas interconectadas al SEN con capacidad mayor a 5MW; de igual forma también se debe contar con un Analizador de calidad de la energía que se interconecten a la RNT, dicho analizador puede ser el mismo medidor para Liquidaciones, siempre y cuando éste sea clase A. Asimismo, se requiere de un equipo de cómputo para conectarse al RID (Registro de Instrucciones de Despacho), solo en el caso de que sean en Centrales Eléctricas que sean despachables de tipo C y D.

Infraestructura requerida para la Medición para Liquidaciones:

- a) Se requiere de un equipo de medición para liquidaciones (Medidores para liquidaciones y Transformadores de instrumento), por lo que se requiere en todos los Puntos de Interconexión de las Centrales Eléctricas.
- b) Requiere de un medio de comunicación para la adquisición de los datos de medición para liquidaciones, se requiere en todos los Puntos de Interconexión de las Centrales Eléctricas.
- c) Se debe contar con equipo para sincronía de tiempo, se requiere en todos los Puntos de interconexión de las Centrales Eléctricas.

La Central Eléctrica será responsable de adquirir los equipos compatibles con la infraestructura tecnológica y del medio de comunicación desde sus instalaciones hasta el Punto de conectividad del Transportista o Distribuidor para poder integrar e implementar los Esquemas de Acción Remedial acordados entre la Central Eléctrica y el CENACE, cabe resaltar que la implementación de los medios de comunicación para la operación de los esquemas de protección en las interconexiones entre la Central Eléctrica y el Transportista o el Distribuidor deben cumplir con lo señalado en la especificación técnica sobre esquemas normalizados de protecciones para líneas de transmisión, ambas actividades serán coordinadas por la Central Eléctrica y el CENACE. Para mayor especificación sobre un tipo de Central consulte de forma más detallada el Manual junto a sus respectivos Anexos.

Los requerimientos en materia de TIC para la medición para liquidaciones, exigibles a las Centrales Eléctricas que se interconecten con la RNT y la RGD, son los elementos de los sistemas informáticos (software) y físicos (hardware) del sistema de comunicaciones incluyen el Dispositivo Concentrador que utiliza el Transportista y/o Distribuidor para adquirir los registros de medición de los Medidores para Liquidaciones, así como la infraestructura de comunicación y seguridad informática que utiliza el Transportista y/o Distribuidor para poner dicha información a disposición del CENACE. A continuación se muestra el sistema de comunicaciones entre la Central Eléctrica y el Transportista para la adquisición de registros de medición para liquidaciones (**Ilustración 28 A**), y aparte se muestra el sistema de comunicaciones entre las Centrales Eléctricas y el Distribuidor para la adquisición de registros de medición para liquidaciones (**Ilustración 28 B**)).

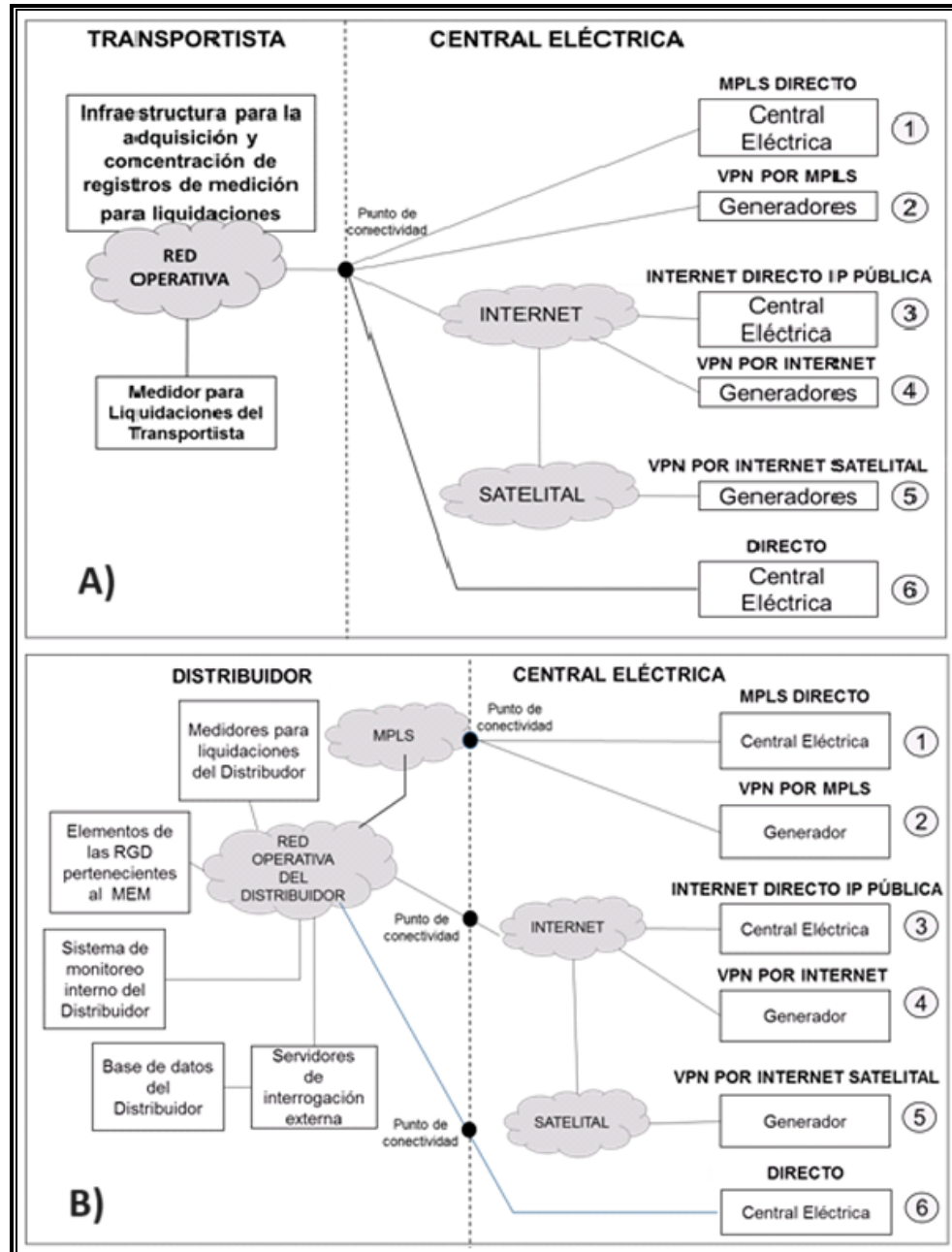


Ilustración 28 Esquema del sistema de comunicaciones para la medición para liquidaciones, desde la Central Eléctrica hacia el Transportista A) y desde la Central Eléctrica hacia el Distribuidor B). Fuente: SENER. Manual de Requerimientos de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para el SEN y el MEM

2.4. Permiso de Generación.

Es importante comprender cómo y cuál es el proceso que debe realizar un Generador para la obtención de los **Permisos de Generación** para generar energía eléctrica en el territorio mexicano, por lo tanto, en este subtema se realizó la investigación y recopilación de información para que cualquier interesado a la obtención del permiso de generación pueda ser acreedor, por lo que a continuación se explica cuáles son las condiciones y obligaciones para ser merecedor de un permiso de generación. En principio los permisionarios deberán ser personas físicas o morales como está establecido conforme a las leyes mexicanas; en la LIE establece en su **Artículo 130** que los permisos serán otorgados por la CRE, por lo tanto los interesados deberán cumplir con ciertos requerimientos para su otorgamiento, como son: el presentar la solicitud correspondiente, la acreditación del pago de derechos o aprovechamientos en los términos que establezcan las disposiciones legales de la materia, la información relativa a su objeto social, capacidad legal, técnica y financiera, y la descripción del proyecto en los términos que establezca la CRE mediante disposiciones de carácter general. De igual manera es importante acatar las reglas y normas que se establecen en el RLIE las cuales explican de forma más detallada en contraste de la LIE, por lo que hay que considerar los **Artículos 21, 22 y 23** del RLIE. Para más información de los artículos revisar el **Anexo**.

En el documento oficial “**Disposiciones Administrativas de Carácter General**” emitido por la CRE, señala que las Centrales Eléctricas deben seguir un **Programa de Obras**, desde el momento que se inicia el proceso del trámite para la obtención del Permiso de Generación hasta que se concluye satisfactoriamente; el programa de obras es una serie de actividades que se lleva a cabo durante el ciclo de vida (desde las **Actividades Previas** hasta la **Entrada en Operación Comercial**) del proyecto de generación de energía eléctrica, por lo que las etapas que contiene el Programa de Obras son las siguientes: **Actividades Previas** (son las actividades relacionadas con las gestiones necesarias para poder iniciar la construcción de la central que dependen de la autorización de las autoridades federales, estatales o municipales), **Por iniciar obras** (es el periodo durante el cual el solicitante lleva a cabo actividades preliminares relacionadas con la ingeniería civil, el diseño de la instalación y los equipos), **Construcción de la central, Pruebas de comportamiento de la Central Eléctrica** (etapa donde se efectúan las pruebas de puesta en servicio, pruebas pre-operativas, pruebas de operación, pruebas de desempeño conforme a lo establecido en el **Manual de Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga**) y **Entrada en operación comercial** (es la etapa final donde el CENACE declara la entrada en operación en condiciones normales de la Central). Cabe señalar que el estatus del permiso se irá modificando con respecto a la etapa en que se encuentre la Central.

De acuerdo a lo establecido en las **Disposiciones Administrativas de Carácter General**, los interesados en obtener un permiso para la generación de energía eléctrica deberán ingresar la solicitud de permiso a través de la **Oficialía de Partes Electrónica (OPE)** de la CRE, asimismo se deberá acreditar su existencia legal y la personalidad de su representante legal ante la CRE y cargar en la OPE la siguiente documentación: **1. Domicilio fiscal**; **2. Identificación Oficial** (En caso de que el solicitante sea persona física adjuntar Credencial vigente expedida por el Instituto Nacional Electoral (INE) / en caso de ser persona moral adjuntar copia del certificado digitalizado del acta constitutiva de la sociedad y más aparte sus modificaciones a los estatutos sociales inscrita en el Registro Público de la Propiedad y del Comercio / o en caso de que el solicitante sea una entidad o dependencia del Gobierno Federal (**E.P.S**) deberá entregar la documentación que acredite su existencia legal); **3. Cédula de identificación fiscal** (Se requiere que sea del solicitante, los socios o accionistas y de las personas o grupos de personas que tienen el control de la sociedad que mantengan acciones bursátiles); **4. Datos Personales** (Domicilio para recibir

notificaciones, junto con los nombres de las personas autorizadas para ello y datos de contacto); **5. Estructura del capital social del Solicitante** (Se deberá presentar la información solicitada a través del formulario de estructura de capital social); **6. Certificado digital del instrumento público** (el cual acreditará la personalidad y facultades del representante legal del solicitante); y **7. Descripción del proyecto** (Proporcionar la información específica solicitada con sus respectivos apartados). Para mayor especificación sobre cada uno de los requerimientos que deben cumplir y entregar el solicitante del Permiso de Generación consulte de forma más detallada las **Disposiciones Administrativas de Carácter General** junto a su respectivo Anexo.

La admisión del trámite de la solicitud se determinará dentro de los 15 días hábiles siguientes a la recepción de la documentación, transcurrido dicho plazo sin que se de notificación o requerimiento, se entenderá que la solicitud será admitida; en caso contrario, si dentro del plazo se determina la omisión de algún requisito, al solicitante se le requerirá que subsane entregando o corrigiendo los documentos faltantes dentro de los 10 días hábiles siguientes a la notificación. En caso de que sea aprobado el trámite y se le otorgue el permiso al solicitante, éste tendrá que presentar ante la CRE los documentos con respecto al control en su organización en un plazo de 90 días naturales a partir de la notificación del Permiso, los documentos requeridos son con respecto al control en su organización, por lo que los documentos solicitados son los siguientes: **1. Manual de organización y procedimientos** (Es el documento que explica las delimitaciones de las funciones y responsabilidades de cada una de sus áreas y que especifique claramente las distintas cadenas de mando); **2. Mecanismos de control de información operativa, contable y de terceros**; **3. Código de Conducta**; **4. Procedimientos de control, vigilancia y auditoría** (Es el documento que explica cómo se debe examinar de manera constante y periódica el cumplimiento de los estándares de integridad, llámense anticorrupción y antidiscriminación y también de las obligaciones regulatorias de la legislación vigente); **5. Procedimientos de denuncia** (Es el documento que explica los procesos disciplinarios y consecuencias concretas respecto de quienes actúan de forma contraria al Código de Ética); **6. Políticas de recursos humanos** (Es el documento que explica cómo se debe evitar la incorporación de personal con conflicto de intereses o faltas de integridad, así como a evitar la discriminación de alguna persona); y **7. Programas de capacitación** (Es el documento que explica las medidas de integridad al personal de todos los niveles de la estructura).

2.5. Obligaciones de los Generadores dentro de la Industria Eléctrica.

En este apartado del capítulo se recopiló información con la finalidad de instruir al lector sobre las obligaciones legales que tienen los Generadores en el sector eléctrico de México al momento de obtener su permiso para generar energía eléctrica, por esta razón se entiende que el permisionario deberá cumplir con diversas obligaciones, ya que de lo contrario, al incurrir en el incumplimiento de alguna obligación en tiempo y forma, el permisionario será acreedor a una sanción y/o revocación del Permiso de Generación. Por lo que a continuación se informa con más detalle cuáles son las obligaciones por cumplir con respecto a lo establecido en el documento oficial “**Disposiciones Administrativas de Carácter General**” emitido por la CRE.

- I. Se deberán cumplir y adoptar las medidas adecuadas para acatar las disposiciones de los diversos órganos e instrumentos jurídicos legales que sean aplicables para la Industria

Eléctrica, llámense: SENER, CRE, CENACE, LIE, LTE, CdR o algún otro.

- II. Se deberán celebrar los contratos de interconexión y de participante de mercado (respectivo al Generador), además de cumplir con los actos necesarios para la realización de las operaciones relativas o derivadas de la generación de energía eléctrica realizándose en tiempo y forma, de conformidad con la legislación aplicable.
- III. Se deberán obtener las autorizaciones o permisos requeridos por las autoridades involucradas con respecto a la actividad permitida del proyecto de generación de energía eléctrica, para el inicio de cada una de las etapas establecidas en el programa de obras, y dando continuidad al cumplimiento de las obligaciones derivadas de ellas.
- IV. Se deberá cumplir con el resolutivo y con las recomendaciones de la SENER en materia de impacto social, en términos del **Artículo 120** de la LIE (para más información del artículo revisar el **Anexo**), el cual establece las medidas necesarias para que los proyectos energéticos sean más sostenibles y sustentables con el ambiente.
- V. Se deberán cumplir con los términos de separación contable, así como con las reglas para las transacciones entre los generadores y sus comercializadores afiliados que establezca la CRE.
- VI. Se deberán proporcionar a la CRE cada 60 días hábiles un informe respecto al avance de cada una de las etapas del programa de obras, mismo que deberá ser acompañado con la respectiva evidencia documental, como lo es señalado en el **Manual para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga** y en el **Manual de Registros y acreditación de Participantes del Mercado**, también se deberán presentar Licencias y autorizaciones Municipales y Estatales, Contratos de derechos de vía o antecedentes de negociación y por ultimo entregar un Reporte fotográfico describiendo y enfatizando lo que se pretende demostrar (demostrando el avance reportado en cuestión de la infraestructura, equipos instalados o trabajos realizados).
- VII. Se deberán proporcionar a la CRE un informe, en un transcurso de 15 días hábiles siguientes a la conclusión de la etapa de pruebas de comportamiento de la central eléctrica, señalada en el programa de obras, el cual debe contener los siguientes elementos: **1.** Capacidad instalada de la central eléctrica y generación neta y bruta anual estimada; **2.** Fichas técnicas y datos de placa de los equipos asociados con la generación de energía eléctrica; **3.** Diagrama unifilar simplificado; y **4.** Indicar el Punto de interconexión.
- VIII. Se deberán comunicar a la CRE el inicio de la operación comercial de la central de generación dentro de los primeros 15 días hábiles después de su entrada en operación; es importante que coincida con la información que obra con respecto al diseño de operación del proyecto y la fecha de inicio en el programa de obras, adjuntando la notificación oficial de la entrada en operación comercial de la central eléctrica emitida por el CENACE conforme a lo indicado en el **Manual para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga**.
- IX. Se deberán notificar al CENACE de cada central eléctrica que represente y cumplir con las instrucciones del CENACE que este dicte, con respecto a la operación de las centrales eléctricas que el Generador tenga a bajo su control.
- X. El permisionario deberá cumplir con la normatividad aplicable y las mejores prácticas en lo correspondiente a infraestructura y equipos.

- XI. El permisionario deberá cumplir con los requerimientos de información que la CRE solicite y con las obligaciones de información relacionadas a su permiso.
- XII. El permisionario deberá estar coordinado y sujeto a las instrucciones que el CENACE indique con respecto a realizar el mantenimiento de la central eléctrica.
- XIII. El permisionario deberá comunicar a la CRE dentro de los 15 días hábiles siguientes del inicio de su operación comercial, los acuerdos contenidos en los contratos celebrados entre el permisionario y el proveedor de combustible, demostrando la posible alianza comercial entre ellos.
- XIV. Una vez que inicie operación la central eléctrica, el permisionario deberá informar a la CRE la cantidad de energía eléctrica generada mensualmente, desglosando la energía neta y bruta.
- XV. El permisionario deberá facilitar el acceso a sus instalaciones, con previa notificación que le haga llegar la CRE, para efectuar las visitas de verificación que tienen por objeto verificar el cumplimiento de las disposiciones jurídicas.
- XVI. El permisionario deberá informar a la CRE con respecto a cualquier cambio a la estructura accionaria o en el plan de negocios.

Otros requisitos indispensables que deben cumplir los permisionarios de centrales Eléctricas de Generación, con respecto a lo que indican las **Bases del Mercado Eléctrico** y el **Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo** (el cual es el Manual de Prácticas del Mercado que tiene por objeto establecer los principios de operación y funcionamiento del **Mercado del Día en Adelanto (MDA)** y del **Mercado de Tiempo Real (MTR)**) es que todos los Generadores deben asegurar que la operación de las Centrales Eléctricas que representan en el MEM, además de ofrecer y proporcionar en su totalidad de las capacidades disponibles para producir energía y Servicios Conexos de las Unidades de Centrales Eléctricas que representan. Para el caso del MDA los representantes de Unidades de Centrales Eléctricas tienen la responsabilidad realizar ofertas de compra correspondientes a los usos propios de la Central Generadora, mientras que para el caso del MTR tienen la responsabilidad de notificar de inmediato al CENACE de cualquier cambio en la disponibilidad o en los planes operativos de los recursos asignados para la operación, por mencionar algunas responsabilidades en el MDA y MTR, y por último deben realizar ofertas basadas en los costos, o en su caso en los costos de oportunidad de la Unidad Generadora.

Al presentar las ofertas de venta de energía debe corresponder al **Nodo P** de la ubicación de la Central Eléctrica, cabe aclarar que debe de ser por cada una de sus Unidades Generadoras (equipo turbo generador) y sus ofertas estarán basadas en los costos que incluyen el costo de arranque, el costo de operación en vacío y el costo de energía incremental para el Mercado de Energía de Corto Plazo (llámese MDA y el MTR) para cada hora del Día de Operación. Cabe señalar que en el caso de unidades de centrales hidroeléctricas y fotovoltaicas, dicho costo de oportunidad se expresa en términos de \$/MWh y en el caso de Centrales Eléctricas con restricciones de gas natural, el costo de oportunidad se expresa en términos de \$/MMBtu de gas.

Los Generadores al momento de presentar las ofertas de venta de cada una de las Unidades de Centrales Eléctricas tendrán que establecer el estatus de la asignación de la oferta de la Unidad, por lo que se tienen tres estatus de asignación, los cuales son:

- I. **No Disponible:** Este estatus se refiere a que **NO** está disponible para consideración ante el CENACE en la asignación de unidades o en el despacho de energía.
- II. **Económica:** Este estatus se refiere a que está disponible para consideración ante el

CENACE en la asignación de unidades o en el despacho de energía.

- a. Para el caso de las **Unidades de Centrales Hidroeléctricas**, la oferta incremental está basada en el costo de oportunidad, por lo que el CENACE calculará el costo de oportunidad para cada grupo turbo generadores para los cuales se ha establecido una cantidad máxima de energía a producir por día. Pero las centrales hidroeléctricas con **Embalse Regulador**, con **Extracciones Reguladas para Generación** y las de **filo de agua** que carezcan de embalse de almacenamiento que no permitan al CENACE despachar su producción no podrán ser clasificadas como **Recursos de Energía Limitada** y la oferta con la que participarán será del tipo **No Despachable** (Las No Despatchables son aquellas cuyo volumen de agua almacenado sólo puede asignarse en periodos menores a 24 horas, mientras que las Despatchables son las que el volumen de agua almacenado puede ser asignado en periodos iguales o mayores a 24 horas).
- b. Para el caso de los **Recursos Intermitentes Despachables** como lo es la energía solar o eólica, la oferta incremental está basada en el costo marginal de cada MW de producción de energía neta sostenida durante una hora; por lo que cada segmento de la curva de oferta incremental consiste en una cantidad expresada en un porcentaje (%) de la potencia media de generación pronosticada y un costo marginal constante para ese porcentaje de la potencia pronosticada, expresado en \$/MWh.

- III. **Operación Obligada (autoasignación):** Este estatus se refiere a que por petición del Generador, ésta debe estar asignada y disponible para ser despachada por motivos de la propia Central, como puede ser que requieran realizar pruebas de operación con carga o cualquier otra circunstancia.

Igualmente, los representantes de las Unidades de Central Eléctrica deberán presentar dos conjuntos de límites de despacho: **límites de despacho económico** (máximo y mínimo) y **límites de despacho de emergencia** (máximo y mínimo) ambos límites deben ser expresados en MW. El límite de emergencia máximo debe ser mayor o igual que el límite económico máximo, mientras que el límite económico mínimo debe ser mayor o igual al límite de emergencia mínimo. Cabe resaltar que los límites de emergencia sólo se activarán cuando el CENACE declare un estado operativo de emergencia en el SEN o estado operativo de restauración del SEN.

Para todas las Unidades de Centrales Eléctricas, el CENACE tiene un registro de parámetros de referencia. Dichos parámetros se estimarán con base en la tecnología de cada unidad, por lo que cada Generador tendrá que registrar los parámetros para cada unidad que representa, de acuerdo con lo siguiente:

- I. **Límite en la energía total diaria:** Este parámetro representa la cantidad máxima de energía (en MWh) que una Unidad de Central Eléctrica podrá generar en un Día Operativo.
- II. **Capacidad de rampa:** Este parámetro representa el intervalo de capacidades máximo y mínimo en MW por minuto en el despacho económico de la Unidad de Central Eléctrica. Dichas capacidades se podrán definir por separado para establecer el aumento o disminución de la potencia eléctrica de la Central Eléctrica.
- III. **Tiempos de notificación:** Este parámetro representa el tiempo requerido entre el momento en que una instrucción de arranque se recibe del CENACE y el momento en que la Unidad de Central Eléctrica se sincroniza con el sistema.
- IV. **Tiempo de arranque:** Este parámetro representa el tiempo requerido entre el momento

en que la Unidad de Central Eléctrica se sincroniza con el sistema y el momento en el que la Unidad de Central Eléctrica es liberada de despacho por el CENACE.

- V. **Tiempo mínimo de operación:** Este parámetro representa el número mínimo de horas de operación en un límite mínimo y máximo de despacho, ya que la Unidad de Central Eléctrica requiere mantener la seguridad y disponibilidad de sus instalaciones.
- VI. **Tiempo mínimo de paro:** Este parámetro representa el número mínimo de horas que la Unidad de Central Eléctrica requiere permanecer fuera de línea para mantener la seguridad y disponibilidad de sus instalaciones, una vez que ésta completó su periodo de operación.
- VII. **Capacidad de Servicios Conexos:** Este parámetro representa los servicios vinculados a la operación del SEN que son necesarios para garantizar su Calidad, Confiabilidad, Continuidad y Seguridad, que puede ofrecer la Unidad de Central Eléctrica al CENACE. Entre los Servicios Conexos que se podrán incluir se encuentran: las reservas operativas, las reservas rodantes, la regulación de frecuencia, la regulación de voltaje y el arranque de emergencia, entre otros, que se definan en las Reglas del Mercado.

Simultáneamente, los permisionarios de las Centrales Eléctricas están obligados a registrar las salidas programadas y reales en el sistema de gestión de salidas del CENACE. Ya que este trabajo de investigación considera una combinación de tecnologías de generación eléctrica de las Centrales Hidroeléctricas en conjunto con los paneles fotovoltaicos flotantes. Los permisionarios de Generación deben entregar pronósticos de energía hidroeléctrica y adicionalmente pronósticos de generación intermitente con respecto a lo que indica el **Manual de Pronósticos** (que tiene como propósito establecer los procedimientos, reglas y principios de cálculo a seguir para la estimación de pronósticos de demanda y pronósticos de generación de energía eléctrica). A continuación, se explica a detalle en qué consiste cada uno de estos:

- **Pronósticos de energía hidroeléctrica:** Los representantes de centrales hidroeléctricas están obligados a presentar pronósticos de energía disponible al CENACE, 10 días antes del inicio de cada mes para los siguientes 18 meses u otro horizonte que se determine en los **Manuales de Prácticas de Mercado**. Es importante resaltar que los datos de los pronósticos proporcionados por las Centrales Hidroeléctricas incluyan la cantidad de recursos hídricos disponibles, la disponibilidad de las Unidades de Generación junto con sus mínimos y máximos de capacidades de potencia eléctrica, además de informar de los posibles días atípicos (por ejemplo la presencia de un huracán), adicionalmente se deben de incluir los pronósticos de variables meteorológicas (temperatura, humedad, viento, etc.) para los siguientes 7 días de operación, entre otras variables que se solicitan en general a todas las Centrales Hidroeléctricas.
- **Pronósticos de generación intermitente:** Los representantes de las Centrales Eléctricas intermitentes están obligados a presentar pronósticos de generación de energía eléctrica por hora y en tiempo real al CENACE, también informar sobre la generación histórica de los últimos 3 meses, adicionalmente se deben de incluir los pronósticos de los horarios de variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento así como radiación solar) para los siguientes 7 días de operación en la ubicación física de las Unidades de Centrales Eléctricas, asimismo se deberá incluir la inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos como igualmente la capacidad instalada del inversor fotovoltaico. Cabe señalar que los recursos intermitentes nuevos deberán tener la capacidad de recibir y responder a instrucciones de despacho de manera electrónica.

Para mayor especificación sobre los requisitos que deben cumplir los permisionarios de Generación de Centrales Eléctricas consulte de forma más detallada los siguientes instrumentos jurídicos legales: **Disposiciones Administrativas de Carácter General** emitido por la CRE, **Bases del Mercado Eléctrico no. 9 (Elementos del Mercado de Energía de Corto Plazo) y 10 (Operación del Mercado de Energía de Corto Plazo)**, **Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo**, **Manual de Pronósticos** y **Manual de Costos de Oportunidad** emitidos por la SENER.

2.6. Cumplimiento del Código de Red.

El Código de Red (**CdR**) es el instrumento regulatorio que reúne las disposiciones administrativas de carácter general emitidas por la CRE que establece los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del SEN, conforme a lo que indica el artículo 12 de la LIE. Este instrumento legal tiene como objetivo permitir e incentivar al SEN para mantenerse en operación, visualizando una ampliación y modernización de la RNT y de las RGD con base en los requerimientos técnicos operativos, siendo de la manera más eficiente y económicamente factible. Así mismo, este instrumento también incluye las reglas para la medición, el control, el acceso y uso de la infraestructura eléctrica.

El Código de Red fue publicado en el Diario Oficial de la Federación (**DOF**) el 8 de abril de 2016, el cual entró en vigor al día siguiente de su publicación en el DOF. Por lo que desde su entrada en vigor es de carácter obligatorio, aplicado a todos los usuarios del SEN, los cuales son: el CENACE, los Transportistas, Distribuidores, Generadores, Comercializadores, Suministradores, Centrales Eléctricas y Centros de Carga. Cabe señalar que en este subcapítulo solo se consideró la parte del Código de Red que está enfocada a las Centrales Eléctricas.

Este documento atribuye diversas obligaciones a las Centrales Eléctricas, a razón de la extensión y el número de requerimientos aplicables a las Centrales Eléctricas ya que es conveniente considerar la aplicación del CdR de forma sistemática con las siguientes categorías:

2.6.1. Planeación.

Para la etapa de planeación se deben considerar los siguientes documentos: **Manual Regulatorio de Planeación del SEN** y **Criterios de Planeación (Criterios P)** que se establecen en el CdR. El objetivo de estas disposiciones (Criterios P) es definir los criterios técnicos de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad, y sustentabilidad, que deberán ser observados durante el proceso de Ampliación y Modernización de la RNT y de las RGD del SEN.

Dicho lo anterior, se deberá realizar todo el proceso de planeación para asegurar que el SEN se diseñe, desarrolle y opere en condiciones normales de tal forma que se minimicen las restricciones en la transmisión y pérdidas de energía eléctrica, propiciando el mejor desempeño posible de un MEM eficiente, reduciendo los costos de producción, y que, ante la Contingencia Sencilla más Severa (no considera la salida de una barra como Contingencia sencilla), se mantenga el Suministro Eléctrico dentro de parámetros de calidad y condiciones operativas de seguridad y confiabilidad. A continuación, se realiza una recopilación de algunos criterios de la categoría de

requerimientos de planeación que involucra a las centrales eléctricas.

“Criterio P - 8. Para el proceso de planeación se tomará en cuenta el programa indicativo de instalación y retiro de Centrales Eléctricas y el pronóstico de precios de combustibles y del Producto Interno Bruto, ambos para un periodo futuro de 15 años.”¹²

“Criterio P - 14. El CENACE y los Distribuidores deberán considerar las metas con respecto a la integración de energía limpia establecidas por la SENER en sus procesos de planeación.”¹³

“Criterio P - 38. Para la planeación de infraestructura de la RNT, los Distribuidores, Transportistas y Participantes del Mercado deberán proporcionar la información que el CENACE requiera sobre la infraestructura de las subestaciones eléctricas de la RNT, RGD del MEM, de los Centros de Carga y Centrales Eléctricas.”¹⁴

2.6.2. Operación.

Para la etapa de operación se deben considerar los siguientes documentos: **Manual Regulatorio de Coordinación Operativa, Procedimientos Operativos y Criterios de Operación (Criterios OP)** que se establecen en el CdR. La finalidad de estas disposiciones (Criterios OP) es definir los criterios técnicos de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad conforme a la normativa aplicable, para asegurar la integridad del SEN, maximizando el tiempo en que éste se encuentre en el Estado Operativo Normal, y minimizando el riesgo de daño a los equipos que lo conforman en el momento en el que el SEN salga de esta condición, también se considera la seguridad del personal operativo de los Integrantes de la Industria Eléctrica y de la sociedad en general. A continuación, se realiza una recopilación de algunos criterios de operación que se orientan a las obligaciones que deben seguir las centrales eléctricas con respecto a la categoría que le corresponde:

a) Rango de tensión.

“Criterio OP- 13. Es obligación de las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas y Distribuidores cumplir en la medida de sus posibilidades con la potencia reactiva que el CENACE requiera para mantener los perfiles de tensión dentro de los rangos establecidos en el Manual Regulatorio de Estados Operativos.”¹⁵

b) Rango de frecuencia.

“Criterio OP- 23. Las Unidades de Central Eléctrica interconectadas al SEN deben participar en la Regulación Primaria y la respuesta de sus controles debe actuar para contribuir a la calidad de frecuencia del SEN.”¹⁶

c) Sobrecarga de instalaciones.

“Criterio OP- 31. Es obligación de las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas y

¹² **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 1. Disposiciones Generales de observación para el proceso de planeación (P).** Pág. 23

¹³ Ídem.

¹⁴ Ibidem. Pág. 25

¹⁵ **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 2. Disposiciones Generales para la operación en Estado Operativo Normal del SEN (OP).** Pág. 28

¹⁶ Ídem.

Distribuidores ajustar los parámetros y la lógica de sus equipos con la finalidad de que los Esquemas de Protección de Sistema para sobrecarga opere adecuadamente, considerando los límites de diseño y la vida útil de los equipos.”¹⁷

d) **Disponibilidad de Reserva Reactiva.**

“Criterio OP- 56. Las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas y Distribuidores tendrán la obligación de mantener en condiciones operables los elementos estáticos y dinámicos del SEN, con la finalidad de que estén disponibles para el CENACE en el momento que sea requerido.”¹⁸

e) **Restablecimiento en casos de Contingencia.**

“Criterio OP- 62. Ante casos de Contingencia, las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas y Distribuidores deben documentar los eventos ocasionados de conformidad con el Procedimiento de Restablecimiento. En caso de que las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas o Distribuidores realicen modificaciones a la infraestructura eléctrica que operan, deben notificar de inmediato al CENACE, a fin de que sea actualizado el procedimiento correspondiente.”¹⁹

f) **Despacho de Generación.**

“Criterio OP- 74. Es obligación de las Unidades de Central Eléctrica cumplir en todo momento con las instrucciones de Despacho de Generación que le indique el CENACE.”²⁰

“Criterio OP- 75. Las Unidades de Central Eléctrica tienen la obligación de notificar de manera oportuna al CENACE, la identificación de riesgos operativos que hagan reducir su Disponibilidad.”²¹

“Criterio OP- 77. Todas las Unidades de Central Eléctrica incluyendo las intermitentes despachables deben ajustar su nivel de generación de conformidad con las instrucciones del CENACE.”²²

“Criterio OP- 80. Las Unidades de Central Eléctrica sólo podrán sincronizarse al SEN previa autorización del CENACE.”²³

g) **Coordinación, supervisión y control de la operación del sistema eléctrico (OP).**

“Criterio OP- 98. Las Unidades de Central Eléctrica deben seguir las instrucciones que emita el CENACE, para mantener la integridad del SEN evitando riesgos en su operación.”²⁴

h) **Coordinación de los programas de Mantenimiento.**

“Criterio OP- 109. Las Unidades de Central Eléctrica, Transportistas y Distribuidores están

¹⁷ Ibidem. Pág. 29

¹⁸ Ibidem. Pág. 31

¹⁹ Ibidem. Pág. 32

²⁰ **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 2. Disposiciones Generales para la operación en Estado Operativo Normal del SEN (OP).** Pág. 33

²¹ Ídem

²² Ídem

²³ Ídem

²⁴ Ibidem. Pág. 35

obligados a entregar al CENACE los Programas de Mantenimientos, conforme a lo establecido en las Bases del Mercado y disposiciones aplicables, siendo su responsabilidad conciliarlo con el CENACE, así como el dar seguimiento necesario para evitar modificaciones o desviaciones.”²⁵

i) **Calidad de la energía.**

“Criterio OP- 118. Todas las Unidades de Central Eléctrica que pretendan interconectarse en Media y Alta Tensión deben cumplir con los límites de los parámetros de Calidad de Energía, de conformidad con el apartado de Calidad de Energía del Manual Regulatorio de Requerimientos Técnicos para la Interconexión de Centrales Eléctricas al Sistema Eléctrico Nacional, que es parte del Código de Red.”²⁶

j) **Servicios Conexos.**

“Criterio OP- 123. Para la asignación y Despacho de Generación de Centrales Eléctricas o Unidades de Central Eléctrica fuera de mérito para mantener la Confiabilidad, es necesario tomar en cuenta, entre otras, las siguientes restricciones:

- 1. Respetar máximos, mínimos operativos y límites de rampas de generación.*
- 2. Respetar zonas prohibidas de operación dentro de las cuales las Centrales Eléctricas no pueden sostener la operación.*
- 3. Respetar el tiempo de arranque, tiempo mínimo de operación, tiempo mínimo de paro y Límite Mínimo de Despacho de Generación por tecnología.”²⁷*

2.6.3. **Interconexión.**

Para la etapa de interconexión se debe considerar los siguientes documentos: **Manual de Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga al SEN y Criterios Interconexión (Criterios INTG)** que se establecen en el CdR. Los objetivos de estas disposiciones (Criterios INTG) es definir los criterios en materia de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad que le son requeridos a cualquier Central Eléctrica para su interconexión en el SEN; más aparte establecer las obligaciones del CENACE para que garantice la operación eficiente, confiable y segura del SEN considerando de manera adecuada la capacidad de las Centrales Eléctricas, de forma transparente y no discriminatoria.

El CdR establece una clasificación de los tipos Centrales Eléctricas con respecto a su capacidad instalada como se observa en la **Tabla 8**, que pueden ser de tipo A, B, C o D y cuáles son los criterios que las Centrales Eléctricas deben cumplir para la interconexión al SEN con respecto a su clasificación, los criterios van de la mano con respecto a las siguientes categorías: 1. Variaciones de frecuencia; 2. Variaciones de tensión; 3. Control de tensión en condiciones dinámicas o de falla; 4. Restauración del sistema; 5. Administración del sistema; y 6. Calidad de la energía. Cabe resaltar que primordialmente los Criterios INTG se enfocan en las Centrales Eléctricas tipo B, C y D para la interconexión en el SEN.

²⁵ Ídem

²⁶ Ibidem. Pág. 36

²⁷ **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 2. Disposiciones Generales para la operación en Estado Operativo Normal del SEN (OP).** Pág. 37

Tabla 8 Clasificación de una Central Eléctrica según su capacidad. Fuente: CRE. Código de Red.

Áreas síncronas	Central Eléctrica tipo A	Central Eléctrica tipo B	Central Eléctrica tipo C	Central Eléctrica tipo D
Sistema Interconectado Nacional	$P < 500 \text{ kW}$	$500 \text{ kW} \leq P < 10 \text{ MW}$	$10 \text{ MW} \leq P < 30 \text{ MW}$	$P \geq 30 \text{ MW}$
Sistema Baja California	$P < 500 \text{ kW}$	$500 \text{ kW} \leq P < 5 \text{ MW}$	$5 \text{ MW} \leq P < 20 \text{ MW}$	$P \geq 20 \text{ MW}$
Sistema Baja California Sur	$P < 500 \text{ kW}$	$500 \text{ kW} \leq P < 3 \text{ MW}$	$3 \text{ MW} \leq P < 10 \text{ MW}$	$P \geq 10 \text{ MW}$
Sistema Interconectado Mulegé	$P < 500 \text{ kW}$	$500 \text{ kW} \leq P < 1 \text{ MW}$	$1 \text{ MW} \leq P < 3 \text{ MW}$	$P \geq 3 \text{ MW}$

A continuación, se realiza una recopilación de algunos criterios de la categoría de requerimientos de planeación que involucra a las centrales eléctricas.

“Criterio INTG - 1. Los requerimientos de interconexión se determinarán de acuerdo con las capacidades de las Centrales Eléctricas considerando las Áreas Síncronas a las que deseen interconectarse de acuerdo con el Manual Regulatorio de Interconexión.”²⁸

“Criterio INTG - 2. Los requerimientos de interconexión serán aplicables o referidos al Punto de Interconexión, a menos que un requerimiento específico indique lo contrario.”²⁹

2.6.4. Ciberseguridad.

Cabe resaltar que la LIE establece como una herramienta la implementación de la **Red Eléctrica Inteligente (REI)**, la cual prevé la integración de tecnologías avanzadas de información y comunicación en los elementos de medición, monitoreo y operación del SEN. Dicho lo anterior es de suma importancia el uso de elementos de TIC para el Control Operativo del SEN, los cuales deben utilizar arquitecturas y tecnologías basadas en estándares abiertos, que permitan la Interoperabilidad y el máximo aprovechamiento de su potencial. Adicionalmente a lo anterior, el uso cada vez mayor y la actualización de estos elementos tiene como consecuencia natural el aumento de posibilidades de amenazas informáticas que pueden causar disturbios en el funcionamiento del SEN.

Para la etapa de ciberseguridad se debe considerar los siguientes documentos: **Manual TIC y Criterios Seguridad de la Información (Criterios REI)** que se establecen en el CdR. Los objetivos de estas disposiciones (Criterios REI) es el de establecer los criterios generales para la administración de la Seguridad de la Información que minimice la situación de riesgo del SEN ante amenazas a dicha seguridad, derivada del aumento en el uso de TIC, así como disminuir el impacto de eventos adversos de dicha naturaleza, que potencialmente podrían afectar la operación confiable del SEN. De la misma forma estableciendo los criterios generales para la integración de elementos de medición, monitoreo y operación en el SEN que utilizan TIC bajo un marco que

²⁸ **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 3. Disposiciones Generales de interconexión para generadores (INTG).** Pág. 39

²⁹ Ídem

promueva e impulse la Interoperabilidad de éstos, a fin de evitar la incompatibilidad de la infraestructura tecnológica e incrementar la eficiencia operativa del SEN. A continuación se realiza una recopilación de algunos criterios de la categoría de requerimientos de ciberseguridad que involucra a las centrales eléctricas.

“Criterio REI - 3. Cada punto de medición de Centrales Eléctricas y Centros de Carga debe cumplir con los requerimientos establecidos en la regulación aplicable en materia de Seguridad de la Información y tecnologías de información y comunicación.”³⁰

“Criterio REI - 5. El registro ante el CENACE del esquema de medición se realizará siempre y cuando cumpla satisfactoriamente con todo lo establecido en la regulación aplicable en materia de Seguridad de la Información y tecnologías de información y comunicación.”³¹

En el siguiente capítulo se hará un resumen de varios documentos normativos oficiales mexicanos en materia Medio Ambiental aplicables a proyectos de generación de energía eléctrica, analizando cuáles son las obligaciones que deben cumplir las Centrales Hidroeléctricas y Fotovoltaicas para minimizar los impactos ambientales y mantener al tanto a los diversos Organismos Gubernamentales tales como la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)**, **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)**, **Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)** y cualquier otra relacionada con materia Medio Ambiental; considerando si estas mismas obligaciones se pueden expandir para la tecnología fotovoltaica flotante. Los documentos que se estudiarán por mencionar algunos son: **Ley General de Cambio Climático**, **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**, **Ley de Aguas Nacionales**, **Ley General de Vida Silvestre**, entre otros. El capítulo 3 tiene como objetivo vincular los proyectos de sistemas híbridos, con las normas oficiales mexicanas con las que se planea identificar y establecer los lineamientos necesarios que se deben de cumplir al momento de la instalación y operación de los sistemas FPV.

³⁰ **Código de Red.** 8 de abril de 2016. Disposiciones Generales Del Sistema Eléctrico Nacional. **Capítulo 5. Disposiciones Generales de Red Eléctrica Inteligente en materia de Telemetría, Interoperabilidad y Seguridad de la Información (REI) para la operación del SEN.** Pág. 44

³¹ Ídem

3. Aspectos medioambientales para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos flotantes en México.

Todas las actividades y procesos que generan algún tipo de impacto medioambiental, consumen recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su vida útil; por este motivo es importante valorar estos impactos, ya que pueden influir en fenómenos como el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono, eutrofización, acidificación, entre otras. Hoy en día, el mundo tiene la necesidad de recurrir al desarrollo sustentable utilizando recursos renovables para generar energía eléctrica y mitigar las emisiones de CO₂ con la finalidad de frenar el cambio climático.

Para este trabajo de investigación hay que considerar el marco ambiental que se enfoca a la Industria Eléctrica y que resulte aplicable a los proyectos de generación de energía eléctrica. Para este caso, el marco ambiental está integrado por la **Ley General de Cambio Climático (LGCC)**, la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** y la **Ley de Aguas Nacionales (LAN)** en conjunto con sus Reglamentos respectivos, además de incluir las Normas Oficiales Mexicanas de Criterio Ecológico. Conforme se vaya desarrollando este capítulo se hará una breve recopilación de información de todos los documentos legales que integran el marco ambiental y que son aplicables a las Centrales Hidroeléctricas y Sistemas Fotovoltaicos Flotantes.

En México, el marco legal que define la organización ambiental y las bases para su regulación está dado principalmente por lo que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 27, mostrando a continuación una breve semblanza del mismo:

- El **artículo 27** informa que: *“la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana”*³².

El artículo 27 enfatiza que se establecerán las medidas necesarias para establecer las regulaciones adecuadas para los usos de tierras, aguas y bosques, con la intención de planear y ejecutar obras públicas; con la finalidad de preservar y restaurar el equilibrio ecológico de las zonas afectadas a la vez que se mejora el crecimiento de los centros de población con todas sus actividades que éstas conllevan (agricultura, ganadería, pesca, silvicultura, minería, generación de energía eléctrica, etc.) evitando la destrucción del ecosistema.

³² Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Reformado Primer Párrafo, D.O.F. 10 De Enero De 1934) primer y tercer párrafo.

3.1. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) De SHARM EL SHEIJ - Noviembre de 2022.

En 1992, los países consolidaron un tratado internacional al cual llamaron la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**, como esfuerzo de cooperación internacional para combatir el cambio climático y limitar los aumentos promedio de la temperatura global resultado de las alteraciones ambientales causadas por las actividades humanas, por este motivo se trató de hacer frente a los impactos medio ambientales que, para ese entonces, eran inevitables. Por lo que para el día 21 de marzo de 1994 entró en vigor a nivel mundial y en 1995 se celebró en Berlín la primera **Conferencia de las Partes (COP 1)**, la cual fue establecida por la Convención como su principal órgano de toma de decisiones y que está conformado por gobiernos y organizaciones como la Unión Europea, que son los responsables de revisar los informes presentados por los países que detallan cómo están llevando a cabo sus compromisos de **Neutralidad de la Degradación de las Tierras (NDT)** y hacer recomendaciones sobre la base de estos informes con el fin de establecer las directrices para que la Convención pueda responder a los desafíos globales y las necesidades nacionales.

Para el año 1997 en la **COP 2** se establece el **Protocolo de Kioto** entrando en vigor en el año 2005, la cual obliga legalmente a los países desarrollados a cumplir objetivos de reducción del 5% emisiones generadas. Posteriormente del **Protocolo de Kioto**, se acordó el 12 de diciembre de 2015 el **Acuerdo de París** entrando en vigor en el año 2020, el cual tenía como objetivo principal crear líneas de acción que redujeran la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura global de este siglo muy por debajo de los 2° Celsius y posteriormente reforzar aún más las líneas de acción para limitar el calentamiento global a 1.5°C.

Cabe señalar que las emisiones que provocan el cambio climático proceden de todas las partes del mundo y afectan a todos, pero algunos países generan mucho más que otros. Por lo que se hará mención de la clasificación de los siete países que generan mayores emisores antropogénicos: 1° China, 2° Estados Unidos, 3° India, 4° la Unión Europea, 5° Indonesia, 6° Rusia y 7° Brasil; los cuales fueron los causantes de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial en 2020. Todo el mundo debe tomar medidas en lo que respecta al clima, pero los países que crean más problemas tienen una mayor responsabilidad, por lo que aparte de los acuerdos ya establecidos, la **ONU** creó los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, que son 17 estrategias puntuales que fomentan el crecimiento económico y abordan una serie de necesidades sociales, como son: **ODS 6 Agua Limpia y Saneamiento**, **ODS 7 Energía Asequible y No Contaminante**, **ODS 13 Acción por el Clima**, entre otros.

En la **COP27**, SHARM EL SHEIJ del 20 noviembre de 2022, la **CMNUCC** dio lugar a una serie de decisiones en la que reafirmaron su compromiso las naciones para establecer un "nuevo objetivo colectivo cuantificado sobre la financiación del clima en 2024, teniendo en cuenta las necesidades y prioridades de los países en desarrollo, y de esta manera limitar el aumento de la temperatura mundial a 1.5°C por encima de los niveles preindustriales. Dichas decisiones también sirvieron para reforzar los objetivos de 2030 en sus planes climáticos nacionales para finales de 2023 y de este modo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los efectos inevitables del cambio climático, por lo que el cumplimiento de los compromisos actuales por parte de los gobiernos nacionales sitúa al mundo en la senda de un calentamiento de 2.5 °C para finales de siglo, por lo tanto para mantener esta proyección el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU indica que las emisiones de gases de efecto invernadero deben reducirse en un 45% de aquí a 2030 para

limitar el calentamiento global a 1.5°C”³³.

Actualmente a la Convención la integran 197 países, de los cuales está incluido México, cabe resaltar que *“para mantener la temperatura global por debajo del 1.5°C se requiere que las emisiones de gases de efecto invernadero a escala global se reduzcan en un 43% en 2030, así como también se requerirá reducir un 30% las emisiones de metano y de igual manera otros contaminantes climáticos de vida corta; por lo que hay que destacar que México contribuye con 1.3% de las emisiones globales”*³⁴. México presentó a la Convención la actualización de su **Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)**, por sus siglas en inglés) en concordancia con la **Ley General de Cambio Climático (LGCC)** y el Artículo 4 del Acuerdo de París.

En el documento **NDC**, México establece un aumento ambicioso de nuevos compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero y refrenda sus compromisos de adaptación al cambio climático para mantener la posibilidad de detener el calentamiento global en 1.5°C, ésta mayor ambición conlleva acciones en toda la economía nacional como lo son: energía, transporte, manejo de residuos, sector residencial y comercial, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura; también en la industria, la agricultura y ganadería y en el sector de petróleo y gas. Por su parte, las acciones de adaptación se articulan en 5 ejes temáticos: **a)** Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio, **b)** Sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria, **c)** Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, **d)** Gestión integrada de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático, y **e)** Protección de infraestructura estratégica y del patrimonio cultural tangible. Cabe resaltar que este trabajo solo se enfoca en el sector de **Generación de Energía Eléctrica**.

Por su parte México se comprometió ante las Naciones Unidas, *“a aumentar su meta de reducción de gases de efecto invernadero de 22% a 35% en 2030, con respecto a su línea base, con recursos nacionales que aportarán al menos un 30% y 5% con cooperación y financiamiento internacional previsto para energías limpias. Y se ratifica la meta de reducción de las emisiones de carbono negro de 51% de forma no condicionada en 2030, y 70% de forma condicionada”*³⁵. Esto significa que México tiene que reducir emisiones del 35% al 2030 implicando 347 MtCO₂e reducidas en dicho año, mientras que el cumplimiento de los compromisos condicionados asciende a 397 MtCO₂e en el periodo implementación de 2020 al 2030, esta meta coadyuvaría a reducir la intensidad de emisiones por unidad de producto interno bruto en alrededor de 40% entre 2013 y 2030. Posteriormente se describirán de forma general las medidas que se planean adoptar para el sector de **Generación de Energía Eléctrica** que se consideran en la NDC de México.

“El país cuenta con tres líneas de acción: a) la integración de energía limpia en la generación eléctrica; b) la sustitución de combustibles de alto contenido de carbono por gas natural en centrales de alta eficiencia, y c) la reducción de las pérdidas técnicas de la red eléctrica. En la primera línea de acción se destaca el Plan Modernización de las Centrales Hidroeléctricas de la CFE mediante acciones de rehabilitación y de repotenciación, cambio de turbinas y desazolves que tiene por objetivo modernizar más del 40% de las

³³ Párrafo descriptivo del tema a tratar en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de SHARM EL SHEIJ el 20 de noviembre de 2022.

³⁴ Dato referido del documento Contribución Determinada a Nivel Nacional publicado por la SEMARNAT en el 2022.

³⁵ Compromiso declarado por México en el documento **Contribución Determinada a Nivel Nacional** publicado por la SEMARNAT en el 2022.

centrales hidroeléctricas actuales, así como construir 4 nuevas centrales hidroeléctricas con una capacidad de 284 MW. Asimismo, se busca **aumentar la capacidad de generación con centrales fotovoltaicas, eólicas, geotérmicas y se fomenta la generación distribuida renovable**. Además, la SENER impulsará nuevas tecnologías para la generación eléctrica, como el **hidrógeno verde** en centrales híbridas, entre otras.

En adición al cumplimiento de las metas de cambio climático, se impulsa la energía limpia para apoyar el **acceso universal a la energía**, por ejemplo, a través de proyectos de electrificación rural y un piloto de hogares solares. Nuestro país continuará abierto a la colaboración internacional, y buscará alianzas estratégicas en pleno respeto de la soberanía nacional, que fomenten la energía renovable. Se destaca en este rubro de cooperación internacional la meta de integrar **40 GW de capacidad de energías limpias**, movilizándolo financiamiento climático, en el marco de la consolidación de una región norteamericana próspera y sustentable con Estados Unidos y Canadá. Un ejemplo de ello es el **Plan Sonora**³⁶.

3.2. Ley General de Cambio Climático (LGCC).

La *Ley General de Cambio Climático (LGCC)* surge en el año 2012 con base en la participación en los acuerdos realizados en la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**. La LGCC tenía en su momento la finalidad de que el Marco Legal de México tuviera sinergia con el tratado internacional sobre el cambio climático que se iba establecer en la Cumbre de París, la cual tuvo lugar en diciembre de 2015. Actualmente la ley está en vigencia y su última reforma fue en el año 2023.

La ley tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano mediante la aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la regulación de acciones para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (**GEI**), por otra parte indica que México debe de promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable, de bajas emisiones de carbono y resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático a la vez que reduce la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a estos efectos adversos.

De igual manera establece las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y posteriormente aumentar los esfuerzos para limitar la temperatura a 1.5 °C reconociendo que estas acciones reducirán considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.

Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica, que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable son: **6, 7, 28, 29, 31, 32, 33, 34 y 37**, cuyo compendio puede consultarse en el **Anexo Único** de este trabajo.

³⁶ Línea de acción que seguirá México en el Sector de Generación de Eléctrica, establecida en el documento **Contribución Determinada a Nivel Nacional** publicado por la SEMARNAT en el 2022, pág. 12.

3.3. Reglamento de la Ley General de Cambio Climático.

La LGCC se apoya mediante el instrumento legal denominado *Reglamento de la Ley General de Cambio Climático (RLGCC)*, que fue publicado en el año 2014, éste establece un conjunto de reglas y normas de forma más detallada a diferencia de la LGCC, que son normas de carácter general. Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica, que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable son: **3, 4, 9, 10, 12, 26 y 27**, cuyo compendio puede consultarse en el **Anexo Único** de este trabajo.

3.4. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

La *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)* surge como respuesta a una demanda social para detener el deterioro del medio ambiente que sustentan la vida de diversas especies endémicas de México, como también la calidad de vida de los mexicanos. La ley fue promulgada en el año 1988 con la finalidad de establecer las bases legales en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente en el territorio nacional. Actualmente la ley está en vigencia y su última reforma fue en el año 2023.

La ley tiene por objeto definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación, de esta forma se garantiza la preservación y restauración del ambiente, así como de la biodiversidad que lo habita, estableciendo los indicadores de prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo. Además, otro objetivo que establece la ley, es el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que exista una correlación en los beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.

Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica, que también pueden ser aplicados a proyectos de generación híbrida renovable son: **5, 11, 22, 22 Bis, 28, 30, 110, 111, 117, 146, 147, 147 Bis, 150, 151, 155 y 156**, cuyo compendio puede consultarse en el **Anexo Único** de este trabajo.

3.5. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

La **LGEEPA** se apoya mediante diversos instrumentos legales denominados Reglamentos, los cuales se enfocan en una materia de ecología y protección al ambiente, y que establecen un conjunto de reglas y normas de forma más detallada a diferencia de la **LGEEPA**, que son normas de carácter general. A continuación, se hará mención de los reglamentos con los que se respalda la ley:

- Reglamento en materia de Áreas Naturales Protegidas.

- Reglamento en materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales.
- Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
- Reglamento en materia de Ordenamiento Ecológico.
- Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- Reglamento en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Lo que establecen los **Reglamentos de la LGEEPA** es que los promoventes de algún proyecto de generación de energía deberán presentar ante la **SEMARNAT** un *manifiesto de impacto ambiental (MIA)*³⁷ integrándole un estudio de riesgo, donde este último contenga escenarios y medidas preventivas resultantes del análisis de los riesgos ambientales relacionados con el proyecto, descripción de las zonas de protección en torno a las instalaciones y señalamiento de las medidas de seguridad en materia ambiental. Con la finalidad de que la **SEMARNAT** realice la evaluación del proyecto de la obra o actividad y se le pueda otorgar al promovente del proyecto una autorización para llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades que a continuación se hará mención:

- **Hidráulicas:** Presas de almacenamiento, derivadoras y de control de avenidas con capacidad mayor de 1 millón de metros cúbicos.
- **Industria Eléctrica:** Construcción de plantas nucleoelectricas, **hidroeléctricas**, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eólicas o termoeléctricas, convencionales, de ciclo combinado o de unidad turbogas, **fotovoltaicas** (solo con excepción de las plantas de generación con una capacidad menor o igual a medio MW, utilizadas para respaldo en residencias, oficinas y unidades habitacionales), de igual forma se requerirá para la construcción de estaciones o subestaciones eléctricas de potencia o distribución, obras de transmisión y distribución eléctrica³⁸, y centrales de cogeneración y autoabastecimiento de energía eléctrica mayores a 3 MW.

Adicionalmente, los Reglamentos indican que las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas (hablando del **sector de Generación de Energía Eléctrica**³⁹) requerirán licencia de funcionamiento⁴⁰ expedida por la

³⁷ Para mayor información de lo que solicita el manifiesto de impacto ambiental (MIA) revisar el **Anexo Único**.

³⁸ Para la construcción de estaciones o subestaciones eléctricas de potencia o distribución y las obras de transmisión y distribución eléctrica no requerirán autorización en materia de impacto ambiental cuando pretendan ubicarse en áreas urbanas, suburbanas, de equipamiento urbano o de servicios, rurales, agropecuarias, industriales o turísticas.

³⁹ Se consideran subsectores del sector de Generación de Energía Eléctrica como fuentes fijas: Generación de energía eléctrica; incluyendo las instalaciones que usan cualquier tipo de combustibles fósiles (Centrales de Ciclo Combinado, de Vapor Convencional, Carboeléctricas, Turbogas y Combustión Interna): líquidos, sólidos o gaseosos y de generación

SEMARNAT, y que las emisiones e inmisión no deberán exceder los niveles máximos permisibles por contaminantes y ni por fuentes de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas con base en la determinación de los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, por lo que la **SEMARNAT** dictaminará las obligaciones de los responsables de las fuentes fijas por las que se emitan emisiones al ambiente⁴¹.

De igual forma, los Reglamentos establecen que se debe informar a la **SEMARNAT** con respecto a las emisiones a la atmósfera, sobre las características de la maquinaria, equipo o actividad que las genere, describiendo el punto de generación y el tipo de emisión, así como las características de las chimeneas y ductos de descarga de dichas emisiones. Mientras que con relación al aprovechamiento de agua se le deberá reportar a la **SEMARNAT** el registro de descargas y transferencia de contaminantes o sustancias químicas e igualmente avisar de las fuentes de extracción de agua, los datos generales de las descargas (las realizadas a cuerpos receptores y alcantarillado), así como las características de dichas descargas. Para mayor especificación sobre los cumplimientos y requisitos que deben cumplir los permisionarios de los proyectos de generación eléctrica consulte de forma más detallada los Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente.

3.6. Ley de Aguas Nacionales (LAN).

La **Ley De Aguas Nacionales (LAN)** fue promulgada en el año 1992 con el objeto de regular la explotación, uso o aprovechamiento del recurso hídrico nacional (ya sean superficiales o del subsuelo), su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo sustentable. Actualmente esta ley se encuentra vigente y su última reforma fue en el año 2023.

El agua proporciona servicios ambientales que deben reconocerse y cuantificarse, por lo que el aprovechamiento del agua debe realizarse con eficiencia promoviendo su reúso y recirculación, por esta razón la ley establece que por medio de la **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)** se otorgarán los permisos y concesiones para la construcción de obras hidráulicas y de otros índoles diversos relacionadas con el agua; además de especificar cuál es el orden de preferencia de cómo debe ser utilizada el agua para la concesión y asignación de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales y del subsuelo, como se muestra en la **Ilustración 29**, logrando observar que el recurso hídrico para generación de energía eléctrica para servicio público se encuentra en el séptimo lugar de la gráfica.

de energía eléctrica por procedimientos no convencionales contaminantes (Hidroeléctrica, Eólica, Geotermoeléctrica y Fotovoltaica); **se excluyen las nucleoeeléctricas**

⁴⁰ Para mayor información de la licencia requerida para las fuentes fijas revisar el **Anexo Único**.

⁴¹ Para mayor información de las obligaciones de los responsables de las fuentes fijas revisar el **Anexo Único**.

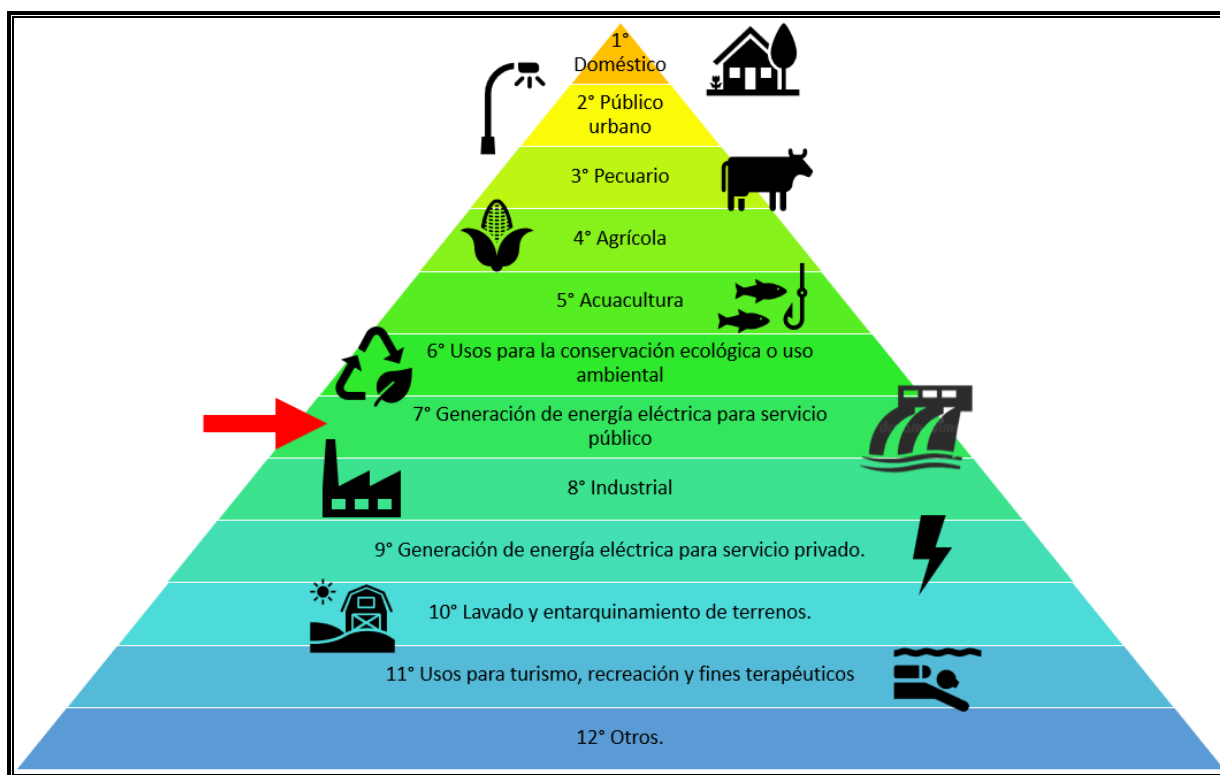


Ilustración 29 Prelación de los usos del agua para la concesión y asignación de la explotación, aprovechamiento o uso de aguas nacionales. Fuente propia

Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica (Hidroeléctrica y Geotérmica) que involucran la utilización del recurso hídrico, que podrían también ser aplicados a proyectos de generación fotovoltaica flotante son: **6, 7, 20, 21, 78, 79 y 80**, cuyo compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo.

3.7. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN).

La LAN se apoya mediante el instrumento legal denominado **Reglamento de la Ley Aguas Nacionales (RLAN)**, que fue publicado en el año 2014. Éste establece un conjunto de reglas y normas de forma más detallada a diferencia de la LAN, que son normas de carácter general. Los Artículos relacionados con el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica (Hidroeléctrica y Geotérmica) que involucran la utilización del recurso hídrico, que podrían también ser aplicados a proyectos de generación fotovoltaica flotante son: **23, 29, 30, 119, 120, 122, 123 y 134**, cuyo compendio puede consultarse en su apartado del **Anexo Único** de este trabajo.

3.8. Normas Oficiales Mexicanas y Criterios Ecológicos Asociados.

Las Normas Oficiales Mexicanas (**NOM**) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las Dependencias de la Administración Pública Federal, que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad u operación para su cumplimiento o aplicación.

La **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)** establece que la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)** debe emitir las **NOM** en Materia Ambiental para garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales sin afectar la sustentabilidad de las actividades económicas de los mexicanos, cabe señalar que las NOM tienen por objeto:

- I. Establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas, en aprovechamiento de recursos naturales, en el desarrollo de actividades económicas, en la producción, uso y destino de bienes, en insumos y en procesos.
- II. Considerar las condiciones necesarias para el bienestar de la población y la preservación o restauración de los recursos naturales y la protección al ambiente.
- III. Estimular o inducir a los agentes económicos para reorientar sus procesos y tecnologías a la protección del ambiente y al desarrollo sustentable.
- IV. Otorgar certidumbre a largo plazo a la inversión e inducir a los agentes económicos a asumir los costos de la afectación ambiental que ocasionen.
- V. Fomentar actividades productivas en un marco de eficiencia y sustentabilidad.

Para facilitar su consulta, las NOM vigentes del Sector Ambiental se clasificaron en las siguientes materias: Agua, Contaminación por Ruido, Emisiones de Fuentes Fijas, Emisiones de Fuentes Móviles, Impacto Ambiental, Lodos y Biosólidos, Medición de Concentraciones, Metodologías, Protección de Flora y Fauna, Residuos y Suelos. Por lo que a continuación se nombrarán algunas NOM en materia ambiental que son aplicables a los proyectos hidroeléctricos y fotovoltaicos, y en qué consisten:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996:** Establece los límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-004-SEMARNAT-1996:** Protección Ambiental – lodos y biosólidos – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- **NOM-041-SEMARNAT-2015:** Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
- **NOM-045-SEMARNAT-2017:** Protección ambiental. - Vehículos en circulación que usan diésel como combustible. - Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.
- **NOM-052-SEMARNAT-2005:** Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de estos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

- **NOM-054-SEMARNAT-2005:** Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM- 052-SEMARNAT-2005.
- **NOM-059-SEMARNAT-2010:** Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo.
- **NOM-080-SEMARNAT-1994:** Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.
- **NOM-081-SEMARNAT-1994:** Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- **NOM-113-SEMARNAT-1998:** Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia o de distribución que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.
- **NOM-114-SEMARNAT-1998:** Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.
- **NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012:** Establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- **NOM-002-SCT/2003:** Especifica el listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
- **NOM-011-SCT2/2003:** Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales o residuos peligrosos en cantidades limitadas.

Para concluir este capítulo es importante aclarar que el marco ambiental no tiene como finalidad ser una barrera para los proyectos de energía sino servir de guía para el desarrollo sustentable de los proyectos y de esta forma mitigar las afectaciones que le acontecen al planeta como el cambio climático, la pérdida de ecosistemas, disminución de recursos, entre otras cosas. Todas las leyes, normas y convenios internacionales son las que establecen las directrices y lineamientos para lograr que los proyectos sean sustentables, como también para conseguir que el acceso a la energía sea asequible y además de garantizar la seguridad del suministro energético. A esto se le conoce como el **Trilema Energético**⁴² el cual es un equilibrio entre estos tres aspectos, como se muestra en la **Ilustración 30**.

⁴² Trilema Energético plantea un desafío complejo al buscar satisfacer la demanda creciente de energía sin comprometer el medio ambiente ni la economía. Para lograrlo, es necesario diversificar fuentes de energía, a base de una legislación promover el desarrollo de tecnologías limpias, la eficiencia energética y fomentar la investigación.

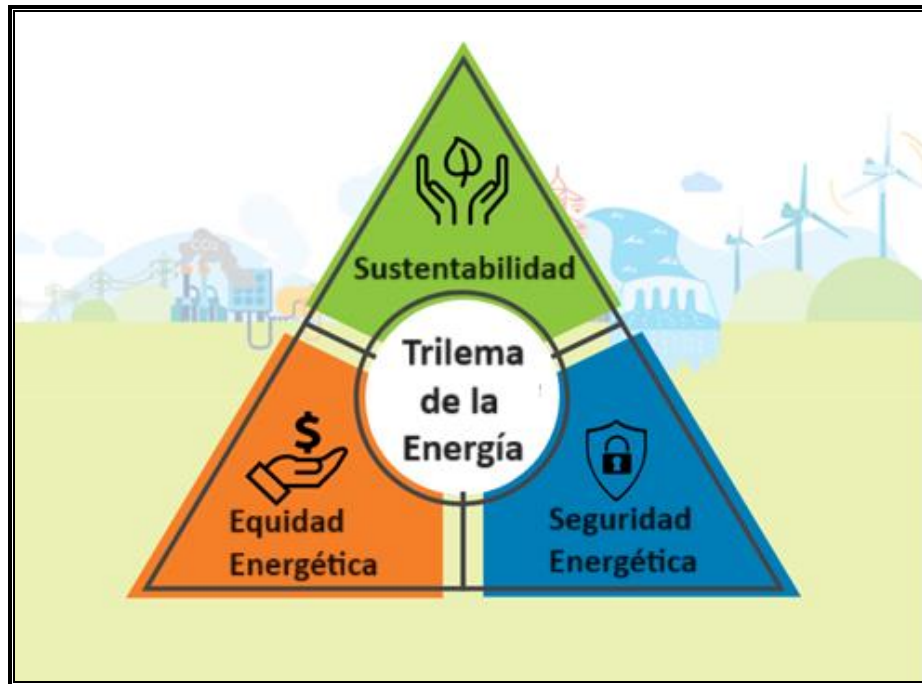


Ilustración 30 Trilema Energético: Balance entre tres aspectos fundamentales: la seguridad energética, la sustentabilidad ambiental y la accesibilidad económica de la energía. Fuente: Malvin Delgado (Linkedin)

Con base en la información recopilada en los capítulos anteriores, el último capítulo tiene como objetivo establecer las etapas que se deben seguir para la viabilidad técnica para los sistemas fotovoltaicos flotantes, implementando una estrategia en la que se logre la inclusión con este tipo de tecnología en las centrales hidroeléctricas con base en el análisis del marco regulatorio y ambiental de la Industria Eléctrica aplicable en México e identificando las principales obligaciones que deben cumplirse para el desarrollo de los proyectos al momento de instalarse y ponerlos en operación para evitar que se realicen actos que atenten contra la operación del Sistema Eléctrico Nacional y el medio ambiente.

4. Etapas para la viabilidad técnica e inclusión de sistemas fotovoltaicos flotantes en Centrales Hidroeléctricas con base a los aspectos Regulatorios y Ambientales.

Con la entrada en vigor de la **Ley General de Cambio Climático** y con el objetivo de contribuir al cumplimiento de los compromisos mexicanos en torno a la emisión de gases de efecto invernadero y al desarrollo sostenible, la CFE se encuentra actualmente impulsando proyectos de generación de energía renovable. Sumado a los objetivos estratégicos nacionales la CFE está llevando a cabo la elaboración de los proyectos de implementación de sistemas *FPV* en los embalses con los que cuenta dicha comisión.

Este capítulo busca establecer los pasos que se deben seguir para implementar el proceso para la inclusión de los sistemas fotovoltaicos flotantes al Sistema Eléctrico Nacional para la contribución de la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, identificando los mecanismos de incentivos regulatorios, los cuales pretenden que sean estímulos para la CFE para instalar más sistemas *FPV* aumentando su parque de generación instalado; también se determinarán las barreras regulatorias que se puedan presentar al llevar a cabo este tipo de proyectos y que puedan obstaculizar a la CFE en la instalación y utilización de este tipo de tecnología para la generación de energía eléctrica, por lo que para esta tarea es relevante tomar en consideración el marco ambiental ya que ayudará en la implementación de una política ambiental que determinará los lineamientos que se deberán seguir para mitigar y no maximizar el impacto al ecosistema, el cual ya fue afectado con anterioridad al momento de construir las obras de generación y embalses; y por último se abordarán las variables de interoperabilidad entre la central hidroeléctrica y los *FPV* para la interconexión híbrida entre las dos tecnologías y la forma de despachar y ofertar ante el CENACE.

Durante el diseño de los sistemas *FPV* se deben conciliar todos los aspectos para que el proyecto logre su óptimo desarrollo, por lo que se deben considerar los diversos entornos, como son: El marco jurídico y regulatorio; la implementación del proyecto, y la parte operativa de este mismo. Los cuales deberán ser aplicados de forma general a lo puntual (como se muestra en la **Ilustración 31**), facilitando el cumplimiento de las necesidades establecidas al inicio del proyecto y no sólo en cada etapa modular.

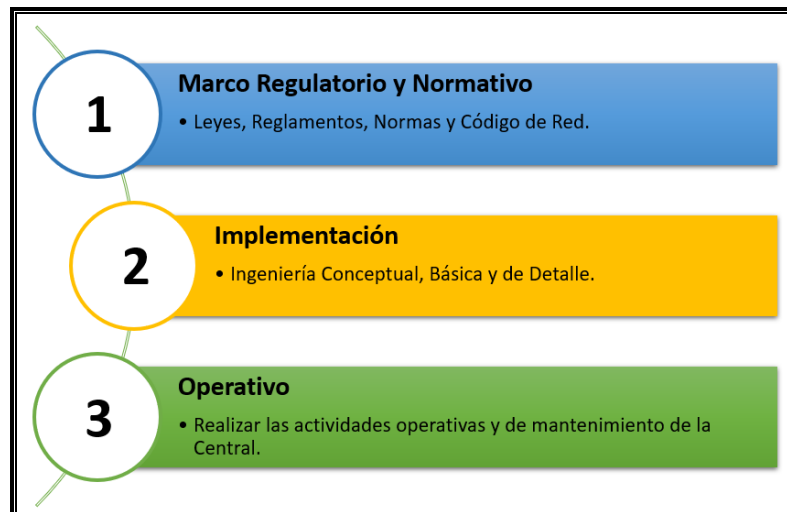


Ilustración 31 Diagrama de los aspectos para conciliar un Sistema Fovovoltaico Flotante. Fuente propia

4.1. Marco Regulatorio y Normativo.

Este subtema tiene como objetivo establecer y analizar las áreas de oportunidad que tiene la CFE para fomentar el uso de energías renovables en sus respectivas jurisdicciones y en el ámbito de su competencia y de esa forma contribuir a la reducción de Gases de Efecto Invernadero y el cumplimiento de metas de mitigación para el 2030 y 2050. El marco legal mexicano define a las energías renovables como aquéllas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza las cuales se regeneran naturalmente de forma periódica y que pueden ser transformados en energía aprovechable y no liberan emisiones contaminantes al ambiente. Las energías renovables reconocidas por el marco legal (como a continuación se muestra en la **Ilustración 32**) son las siguientes: Eólica, Bioenergía, Oceánica, Hidroeléctrica, Geotérmica y Solar, ésta última en todas sus formas de tecnología, por lo que los sistemas fotovoltaicos flotantes se encuentran incluidos.

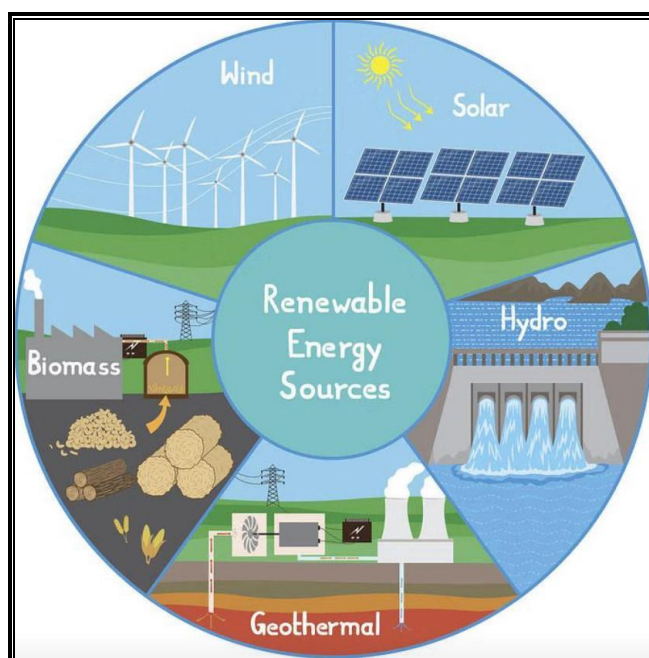


Ilustración 32 Fuentes renovables que reconoce el marco legal mexicano. Fuente: Power/ Energy/ Infrastructure Sector Professionals (Linkedin)

Las administraciones pasadas realizaron esfuerzos mediante la CFE, concentrándose en la generación de energía eléctrica proveniente de las centrales hidroeléctricas, pero actualmente las energías eólica y solar han tenido mayor crecimiento de capacidad instalada. Mientras que en el caso de la tecnología fotovoltaica flotante representa una importante área de oportunidad para diversificar la generación de energía eléctrica puesto que es la que ya cuenta con estudios de factibilidad por el aprovechamiento del recurso solar gracias a la ubicación estratégica en la que se localiza el país, por otra parte aún se puede observar que es una tecnología que todavía no ha alcanzado su madurez ni se han establecido las bases legales necesarias para expandir los proyectos a nivel nacional, sin embargo con el marco regulatorio y ambiental actualmente vigente en México, no se detecta algún tipo barrera legal que impida la implementación de los parques fotovoltaicos flotantes, no obstante estos proyectos energéticos se tienen que apegar a lo que

establece la legislación mexicana para no incurrir en graves afectaciones a la población, al medio ambiente y ni al Sistema Eléctrico Nacional. Las leyes implicadas para el desarrollo de este proyecto se basan principalmente en: la Ley General de Cambio Climático, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales, Ley de la Industria Eléctrica, Ley de Transición Energética y el Código de Red, como se aprecia en la siguiente **Ilustración 33**.

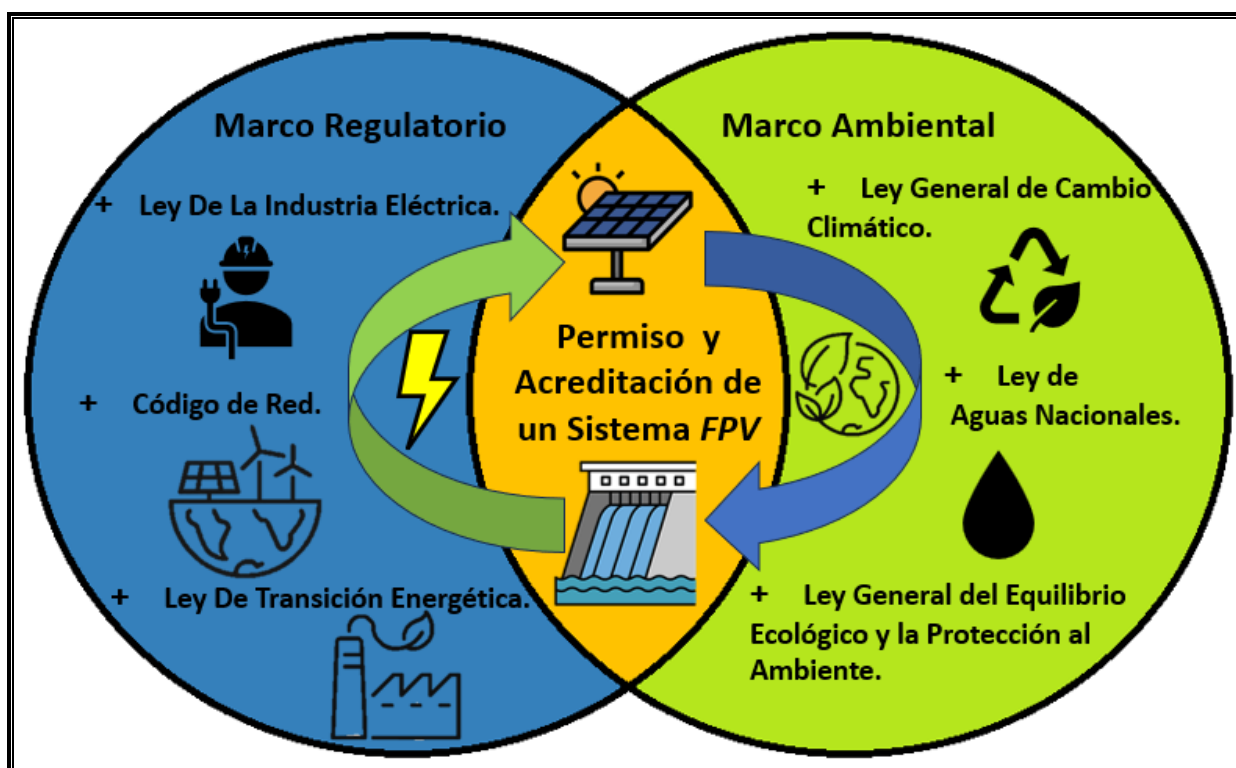


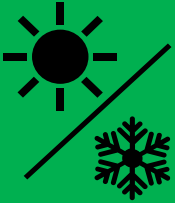
Ilustración 33 Esquema de relación que se tiene entre el marco regulatorio y el ambiental al momento de implementar un sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia.

En las siguientes tablas (**Tabla 9** y **Tabla 10**) se aprecian los factores más relevantes de las leyes anteriormente mencionadas en la **Ilustración 33**, que están relacionadas al marco regulatorio y ambiental que se aplica a la Industria Eléctrica Nacional, en las tablas se muestra cómo se emplean estos factores en los proyectos de los sistemas fotovoltaicos flotantes, además de establecer cuál es el organismo que lo solicita, lo establece o lo otorga dependiendo el caso y el documento en el que el permisionario se pueda guiar para cumplir correctamente con toda la legislación solicitada por la Secretaría de Energía (**SENER**), Comisión Reguladora Energía (**CRE**) y Centro Nacional de Control de Energía (**CENACE**).

Tabla 9 Factores relevantes relacionados con el Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica Nacional aplicable a los Sistemas Fotovoltaicos Flotantes. Fuente propia.

Leyes	Factores Relevantes	Como se puede aplicar al FPV	¿Quién lo otorga?/¿Quién lo establece?/¿Quién lo solicita?	Documento guía
Ley de la Industria Eléctrica 	Permisos de Generación	Los generadores podrán vender energía a diversos participantes, ya sea Suministradores (a través de subastas) o Comercializadores, así como entrar directamente a la venta al Mercado o en su caso en abasto aislado si así lo desean (generando electricidad para la satisfacción de necesidades propias).	Comisión Reguladora de Energía (CRE)	sitio oficial de la CRE: + Permiso para generar energía eléctrica. + Micrositio de Permisos en materia de Generación de Energía Eléctrica.
	Reglas de Mercado	Las Reglas del Mercado establecen las directrices que deben seguir todos los integrantes de la Industria eléctrica, a fin de que las personas que celebren con el CENACE un contrato de Participante del Mercado, en la modalidad de Generador, Suministrador, Comercializador no Suministrador o Usuario Calificado, puedan realizar transacciones de compraventa de energía eléctrica, Servicios Conexos, Potencia, Certificados de Energías Limpias y los demás productos que se requieren para el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), en un ambiente de competencia y transparencia que propicie la reducción de costos.	Centro Nacional de Control y Energía (CENACE)	Bases del Mercado Eléctrico (19 Bases) y Manuales de operación del Mercado Eléctrico Mayorista. Como por ejemplo: Manual de Registro y Acreditación, Manual de Costos de Oportunidad, entre otros.
	Certificados de Energía Limpia (CEL)	Contribuirá a lograr las metas de la política en materia de participación en la generación de energía eléctrica con fuentes de Energías Limpias con el mínimo costo factible.	Secretaría de Energía (SENER)	Bases del Mercado Eléctrico No. 17 Liquidación, facturación y pago, y documento Requisitos de Certificados de Energías Limpias.
Ley de Transición Energética 	Marco Regulatorio Aplicable a las Energías Limpias	Tener certeza jurídica para un funcionamiento eficiente al momento de generar energía eléctrica, mientras se asegura de los derechos de propiedad, así como también evitar afectaciones al ambiente.	Secretaría de Energía (SENER)	Ley de la Industria Eléctrica y Ley de Transición Energética y el reglamentos de ambas leyes.
	Metas de Energías Limpias	Elaborara una Hoja de Ruta para promover el desarrollo de este tipo de tecnología base de un estudio previsto para aumentar su capacidad instalada a futuro.	Secretaría de Energía (SENER)	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. (PRODESEN)
Código de Red 	Planeación	Se debe tomar en cuenta el programa indicativo de instalación y retiro de Centrales Eléctricas para un periodo futuro de 15 años, verificando que este tipo de tecnología este contemplada para incrementar la capacidad instalada en el país.	Secretaría de Energía (SENER)	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. (PRODESEN)
	Operación	Se debe de considerar diversos criterios: + Rango de frecuencia. + Rango de tensión. + Sobrecarga de instalaciones. + Disponibilidad de Reserva Reactiva. + Restablecimiento en casos de Contingencia. + Despacho de Generación. + Coordinación, supervisión y control de la operación del sistema eléctrico. + Coordinación de los programas de Mantenimiento. + Calidad de la energía. + Servicios Conexos.	Centro Nacional Control y Energía (CENACE)	Bases del Mercado Eléctrico (19 Bases) y Manuales de operación del Mercado Eléctrico Mayorista. Como por ejemplo: Procedimiento de Operación Declaración Entrada Operación Comercial, entre otros.
	Interconexión	Los requerimientos de interconexión se determinarán de acuerdo con las capacidades de las Centrales Eléctricas considerando las Áreas Síncronas a las que deseen interconectarse de acuerdo al Manual Regulatorio de Interconexión.	Centro Nacional de Control y Energía (CENACE)	Manual para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga.
	Ciberseguridad	La central eléctrica deben cumplir con la Telemetría en Tiempo real, así como para la transferencia de voz y datos, con calidad de la información, con respecto a la puesta en servicio, operación y mantenimiento de las TIC relacionadas con el Control Operativo del SEN y con la operación del MEM.	Centro Nacional de Control y Energía (CENACE)	Manual de Requerimientos de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para el SEN y el MEM.

Tabla 10 Factores relevantes relacionados con el Marco Ambiental de la Industria Eléctrica Nacional aplicable a los Sistemas Fotovoltaicos Flotantes. Fuente propia.

Leyes	Factores Relevantes	Como se puede aplicar al FPV	¿Quién lo otorga?/¿Quién lo establece?/¿Quién lo solicita?	Documento guía
Ley General de Cambio Climático 	Adaptación	Promover la protección del ecosistema, el desarrollo sustentable y el derecho a un medio ambiente sano a través de la mitigación de emisiones, promoviendo de manera gradual la sustitución del uso y consumo de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.
	Mitigación	Fortalecimiento de capacidad de energías limpias instaladas (MW) para la reducción de emisiones y la adaptación a los efectos adversos del cambio climático, priorizando en el sector de generación de electricidad.	Secretaría de Energía (SENER)	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. (PRODESEN)
	Acuerdo de París	Logro gradual de metas de reducción de emisiones específicas por sectores (sector de generación de electricidad) considerando las contribuciones determinadas a nivel nacional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Contribución Determinada a Nivel Nacional publicado por la SEMARNAT.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 	Evaluación del Impacto Ambiental	Realizar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental de la obra o actividad que corresponda, explicando todas las causas y razones que justifiquen la obra o actividad plasmándola en un Manifiesto de Impacto Ambiental (MIA).	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
Ley de Aguas Nacionales 	Concesiones y Asignaciones	Al buscar una generación híbrida junto con la hidroeléctrica es importante el orden de preferencia de cómo debe ser el aprovechamiento de aguas nacionales.	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
	Programación Hidráulica	Por tratarse de una tecnología híbrida renovable junto con la hidroeléctrica, es importante establecer las prioridades y las posibles limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva del recurso hídrico.	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Programa Nacional Hídrico.

4.2. Implementación.

En esta sección se desarrollan los aspectos técnicos del proyecto fotovoltaico flotante para integrarlo a las instalaciones de una central hidroeléctrica, por lo que se deberán aportar todos los elementos necesarios para su evaluación y posterior validación técnica. Es importante precisar las particularidades del proyecto, por lo que se tienen que definir en forma concreta y resumida las implicaciones del proyecto y los alcances de éste. Dicho lo anterior es necesario que se

establezca una metodología (**Ilustración 34**) en la que se planifique la ejecución y el control de los procesos con la intención de organizar los tiempos del proyecto, como también a gestionar y minimizar los riesgos del mismo, esto se debe realizar en cada una de las etapas durante el desarrollo del proyecto desde su inicio hasta su conclusión.

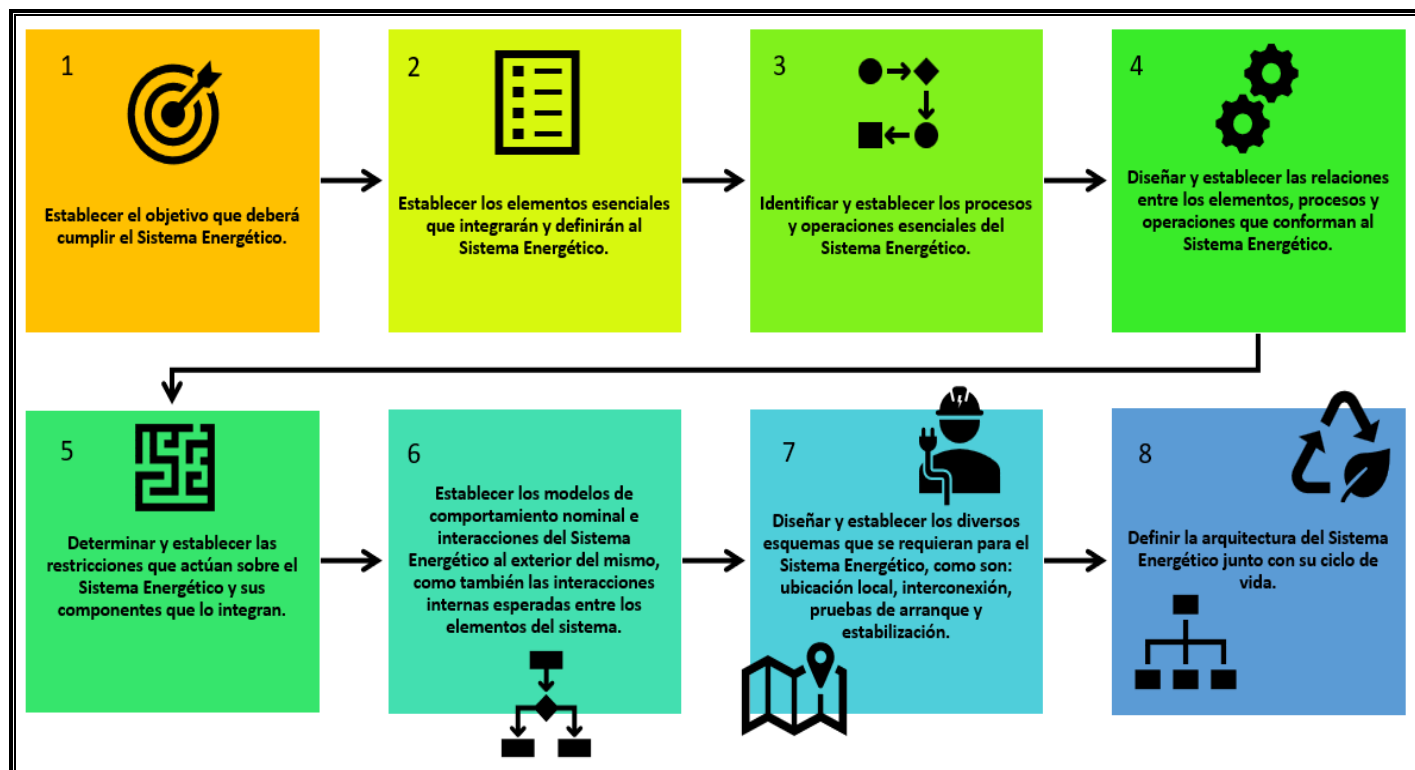


Ilustración 34 Metodología de etapas de implementación de un sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia.

Es primordial establecer los objetivos (**Etapas 1**) que se van a cumplir en este sistema, resolviendo ciertas incógnitas: ¿Qué se planea ofertar al MEM con este sistema? Energía (MWh), Potencia (MW, Energía Acumulable (seguridad energética con base en baterías de respaldo), Certificados de Energía Limpia o Servicios Conexos (confiabilidad al Sistema Eléctrico Nacional) ¿A qué escala se planea realizar la instalación de este tipo de sistemas de generación? Distribuida (capacidad instalada menor a 0.5 MW) o centralizada (una capacidad mayor a 0.5 MW), entre otras preguntas que pudiesen surgir.

La siguiente etapa (**Etapas 2**) consiste en establecer los elementos esenciales que integrarán y definirán al sistema *FPV* como podrían ser la cantidad de flotadores que se instalarán en el área superficial del embalse para que en estos estén sobrepuestos los paneles solares. Otro elemento sería la cantidad y el tipo de paneles que se deben instalar para obtener una potencia determinada (MWp). El siguiente componente sería el tipo de anclaje que se va a implementar para que el sistema quede semiestático (se debe considerar que la instalación tenga cierta libertad de movimientos, ya que en los embalses el nivel del agua y la profundidad, varían con cierta frecuencia, en función de su curva de vaciado establecido para cada embalse de acuerdo con el NAMINO, NAMO y NAME) ya que su función es mantener las instalaciones en su sitio flotando durante 25 años o más. El siguiente elemento sería el inversor de corriente, hay que identificar cómo se va a sacar la energía, si va a ser en cadena o centralizada o si va a estar flotando en el embalse junto al sistema *FPV* o estará en tierra firme, y el último componente sería el conjunto de

baterías de almacenamiento, visualizando si el proyecto estará diseñado para almacenar energía o no y en caso afirmativo, se debe precisar el porcentaje almacenamiento, ya que este factor se deriva de la cantidad de baterías que se requieran instalar.

La siguiente etapa (**Etapa 3**) consiste en identificar y establecer los procesos y operaciones esenciales del sistema energético, un proceso importante es establecer de qué forma se va a despachar la energía solar, ya que, si bien es sabido, que el proceso inicia con los paneles solares fotovoltaicos capturando la radiación solar, provocando que los electrones que hay en las moléculas del silicio liberen energía, la cual se convierte en electricidad en forma de corriente continua. El último proceso consiste en tomar la decisión de convertir la corriente continua en alterna mediante un inversor para inyectar la energía a la red eléctrica o existe la opción de guardar la energía en las baterías para su uso posterior. Otro aspecto muy importante a considerar es la recopilación de datos de entrada, ya que es un proceso en el que se introduce información relevante del proyecto con la idea de tener de forma más completa las bases del mismo, como por ejemplo identificar los factores que se deben considerar en las centrales hidroeléctricas para determinar la factibilidad de la implementación de los sistemas fotovoltaicos flotantes de modo que operen de forma híbrida sin alterar al SEN y al medio ambiente.

En la recopilación de datos se detectan primordialmente cinco categorías, las cuales son: Infraestructura eléctrica existente, Reservoirio (embalse), Topografía, Clima, e Impacto ambiental y social, como se muestra en la **Ilustración 35**. Estas categorías abarcan desde temáticas ligadas a aspectos ambientales, como también aspectos eléctricos, hidráulicos, entre otros que se explicarán a continuación. Cada una de estas categorías técnicas está subdividida en un número variado de criterios ligados a los aspectos técnicos de las centrales hidroeléctricas.

Después de realizar la recopilación de datos complementarios de las diversas centrales hidroeléctricas, se deberá analizar y estudiar toda la información recabada con la que se efectuará una valoración para cada uno de los embalses con respecto a cada categoría ya antes mencionadas, con el fin de crear una matriz de ponderación con la intención de detectar y seleccionar los embalses con mayor factibilidad en los que se puedan instalar sistemas fotovoltaicos flotantes.



Ilustración 35 Categorías a considerar para la implementación de un sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia (ilustración de fondo obtenida del internet)

Aspectos Técnicos (eléctricos, hidráulicos y civiles): Los datos que deberá proporcionar la CFE deberán estar enfocados a toda la infraestructura de la que disponen cada una de sus centrales hidroeléctricas, como serían las características de la presa y del vertedero (tipo de presa, altura de la presa, nivel del vertedero, las características del embalse (los niveles del NAME y del NAMINO, la profundidad media, los históricos de los niveles de las presas, los riesgos de bloqueo, datos sobre la central de producción (producción anual media de la central, potencia nominal, carga bruta, etc.), datos relacionados con la red eléctrica (capacidad de reserva de evacuación sobre la máxima potencia hidroeléctrica en transformadores de generación, cantidad de transformadores de Alta Tensión, potencia nominal de un transformador, etc.), entre otros que pudieran surgir.

Clima: Esta categoría incluye criterios muy particulares de la zona donde podría instalarse el sistema *FPV* con respecto a la climatología como es la irradiancia solar, velocidad del viento, altura de olas, velocidad del agua, promedios de temperatura de la zona, etc. Las ponderaciones efectuadas toman en cuenta los parámetros de medición requeridos como W/m^2 para la irradiancia o m/s para la velocidad de los flujos de agua.

Topográfica: Esta categoría presenta los criterios para el análisis de viabilidad a la central eléctrica o al sistema *FPV* como lo son los accesos, zonas para el ensamblaje, proximidad a poblados y ciudades, potencial de zona de sombras o de igual forma la zona potencial para la instalación de baterías.

Embalse: Esta categoría presenta los criterios de ingeniería civil con forme a la construcción del embalse como lo son la forma de superficie, cuánto es la superficie útil, variación batimétrica, máxima profundidad, variación del nivel de agua, composición del suelo y humedad.

Ambiental: Esta categoría analiza las posibles afectaciones que pudieran ocasionarse en el ecosistema al momento de llevar a cabo el sistema *FPV*, por lo que se consideran tres elementos, que son la reducción de la evaporación (porcentaje de evaporación del sitio (MM/año) y la reducción estimada de la evaporación), reducción del crecimiento de algas y/o aumento de la vida útil de las bacterias (eutroficación) y el impacto en la vida acuática.

Social: Esta categoría tiene contemplados los criterios de seguridad y protección del sitio y las consideraciones sociales y políticas para la aprobación del proyecto. Faltaría complementar con información sobre la densidad de población alrededor del embalse y las actividades económicas presentes.

A continuación, se muestra un diagrama (**Ilustración 34**) con las 6 categorías y los 21 criterios, para que una central hidroeléctrica sea elegida en cuestión de su factibilidad para desarrollar proyectos para la inclusión de sistemas fotovoltaicos flotantes.

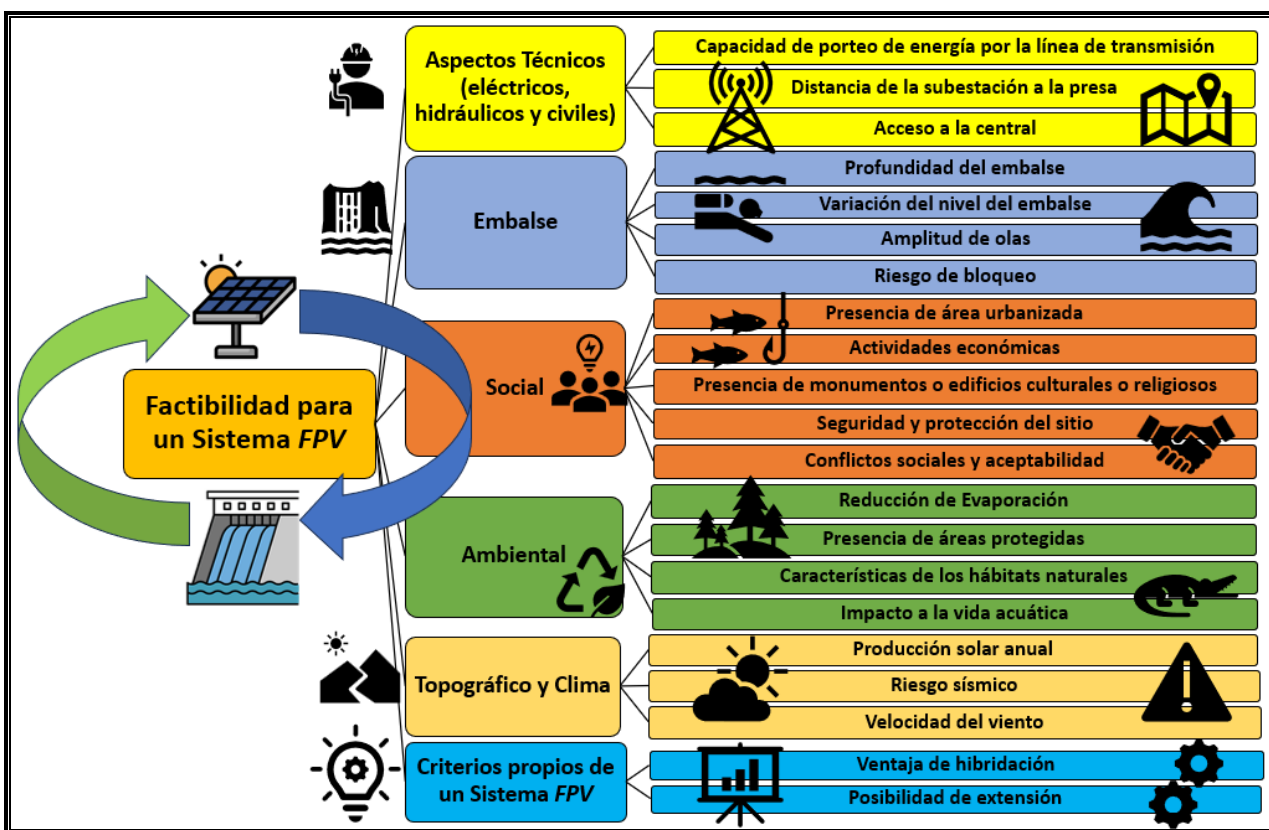


Ilustración 36 Diagrama de criterios para considerar la factibilidad de una central hidroeléctrica para la integración de un sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia.

La siguiente etapa (**Etapa 4**) consiste en el diseño y establecimiento de las relaciones entre los elementos, procesos y operaciones que conforman al Sistema Energético (Generación híbrida renovable con centrales hidroeléctricas y paneles fotovoltaicos flotantes). Esta etapa se puede visualizar como una matriz con las distintas combinaciones posibles, involucrando los diversos elementos y configuraciones que se pueden implementar al momento de construir el proyecto (como se muestra en la **Ilustración 37**) para llevar a cabo los procesos que va a realizar el sistema energético, los cuales ya fueron definidos desde un inicio junto con sus limitaciones. Cabe señalar que la elección de los elementos y la configuración de cómo va a estar constituido el sistema va a depender de las necesidades que tenga la CFE y presupuesto con el que cuente para el desarrollo del mismo. Por otro lado, también se puede apreciar en la **Ilustración 38** las dos opciones que existen para sacar la energía del sistema fotovoltaico flotante, en la opción 1 lo que se pretende ilustrar es la forma en la que se va a interconectar el sistema *FPV*, utilizando las instalaciones ya existentes de la central hidroeléctrica y de esta forma inyectar la energía a la red, mientras que en la opción 2 lo que se pretende mostrar es que si existiera alguna causa técnica por la cual no se puede integrar el sistema *FPV* con las instalaciones de la central hidroeléctrica, se tendrá que buscar conectar en otro nodo (otra subestación) de la red eléctrica y de esta forma sacar la energía generada.

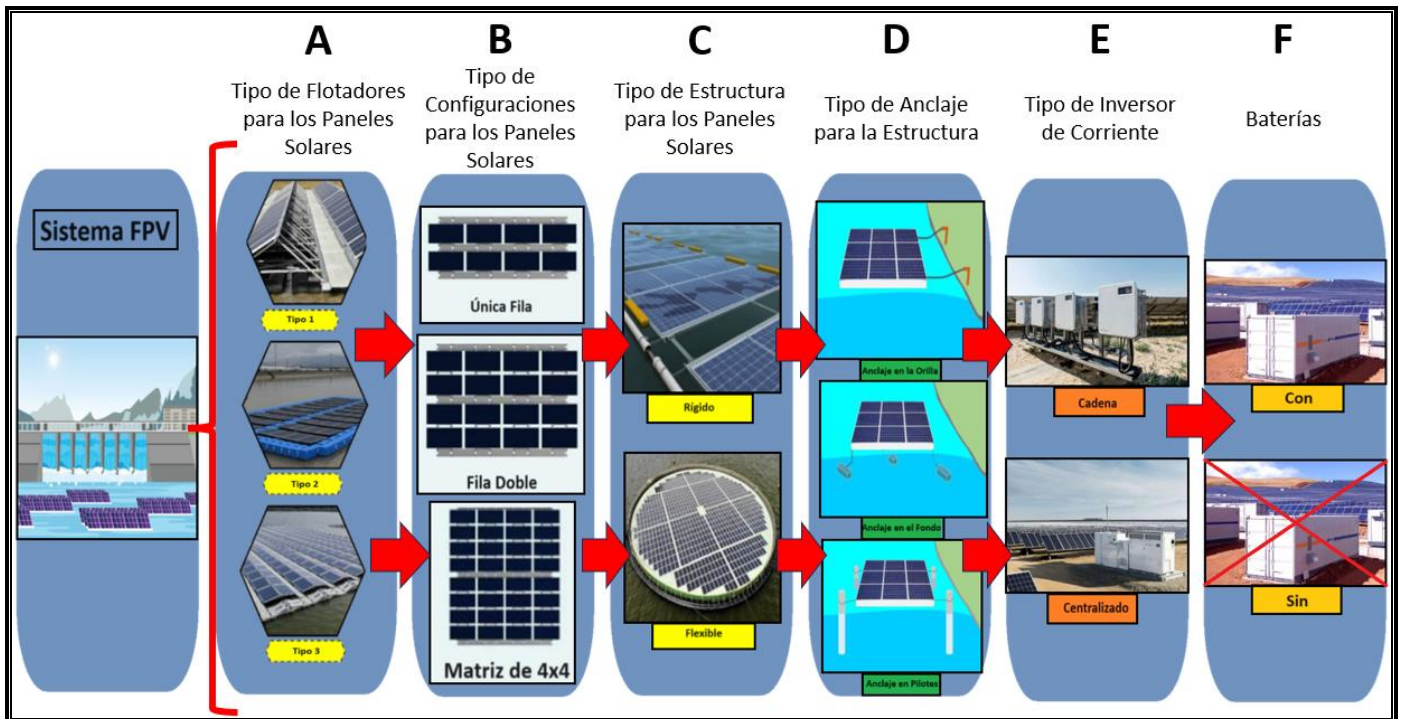


Ilustración 37 Matriz de elección de elementos para la implementación de un sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia. (Imágenes recopiladas de diversas fuentes de internet).

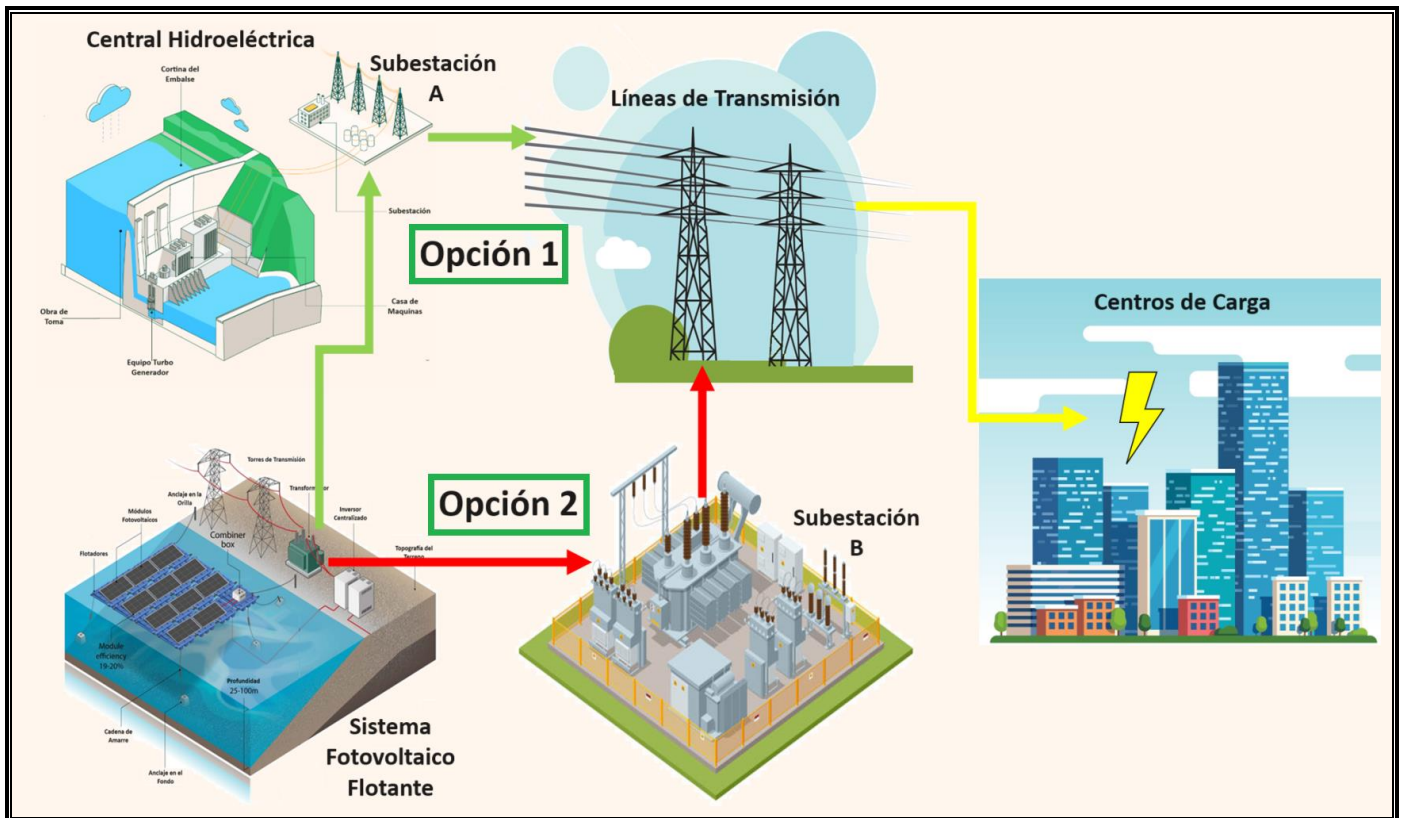


Ilustración 38 Opciones que existen para sacar la energía del sistema fotovoltaico flotante. Fuente propia. (Imágenes recopiladas de diversas fuentes de internet).

En la etapa sucesiva (**Etapa 5**) se deben determinar y establecer las restricciones que actúan sobre el Sistema Energético y los componentes que lo integran, los retos que se identifican al momento de implementar estos sistemas híbridos son:

Primordialmente se tienen vacíos regulatorios en las Leyes, Reglas y Disposiciones Operativas del Mercado Eléctrico Mayorista (**MEM**), por lo que podrían ocasionar retrasos en el desarrollo e instalación en este tipo de proyectos a falta de otorgamiento de permisos que emiten diversos entes gubernamentales.

Otro factor es el espacio disponible, esto considerando la cantidad de paneles fotovoltaicos flotantes que se desean instalar para tener la capacidad de potencia (MWp) deseada en un área determinada por lo que puede estar limitada por la cantidad de espacio disponible que se puede ocupar del embalse.

El siguiente factor es la topología y restricciones de la Red Nacional de Transmisión (**RNT**), esto debido a que no se pudiera aprovechar en su totalidad la producción de energía generada por la capacidad instalada de la tecnología *FPV* y poderla transportar a través de la RNT, esto va de la mano con la configuración que se vaya a implementar con ambas tecnologías (hidroeléctrica y *FPV*).

Otro aspecto sería la disponibilidad del recurso (solar) esto hace referencia al factor de planta de los sistemas *FPV* ya que dependiendo de las zonas donde se realice la instalación se tendrán distintos niveles de irradiación, por lo que se busca y requiere que se tenga el más alto nivel de concentración de irradiación solar.

Otra limitante sería la climatología con la que se generan lluvias extremas en las zonas que se planean instalar los sistemas *FPV* y estas originen avenidas extraordinarias (NAME) en los embalses, causando que se realicen desconexiones forzadas a los sistemas energéticos. En la CFE existen procedimientos para el seguimiento y control para dichas avenidas extraordinarias, donde se mitigan los riesgos ante una posible desconexión forzada de cualquiera de las tecnologías.

Otra restricción que se detecta es la forma en la que se presentarán las ofertas de generación al CENACE en el Mercado en Día en Adelanto (**MDA**), ya que se deberán coordinar las extracciones de agua turbinada que pasan por los generadores de la central hidroeléctrica (en algunas centrales hidroeléctricas se tienen despachos obligados por la necesidad de turbinar agua para suministro de riego y/o agua potable para poblaciones) con el despacho del sistema *FPV*, adicionalmente deberá haber una consideración si es que se instalan sistemas de almacenamiento de energía (**SAE**), por lo que se tendrá que optimizar el despacho de generación de energía eléctrica de estos tres tipos de tecnologías.

Y el último factor es el costo del proyecto, se debe considerar el presupuesto de la instalación, contemplando y separándolo en diversas partidas, en las cuales estaría el costo de los equipos, del cableado, de la estructura, la obra civil, la mano de obra, el costo de permisos y licencias que se requieran para la elaboración del proyecto.

La siguiente etapa (**Etapa 6**) consiste en establecer los modelos de comportamiento nominal e interacciones del Sistema Energético al exterior del mismo, como también las interacciones internas esperadas entre los elementos del sistema, por lo que se detectan cuatro opciones de modelos integrados en la operación a los sistemas *FPV*, los cuales son los siguientes:

- 1) **Modelo 1 Híbrida – Conjunta:** esto quiere decir que las dos tecnologías generarán en conjunto tanto la central hidroeléctrica con el parque fotovoltaico flotante. Una ventaja de este modelo es que se aprovechan las instalaciones de la central hidroeléctrica y la configuración que se tendría sería tipo serie con respecto al parque fotovoltaico, como se muestra en el diagrama unifilar (*Ilustración 39*).

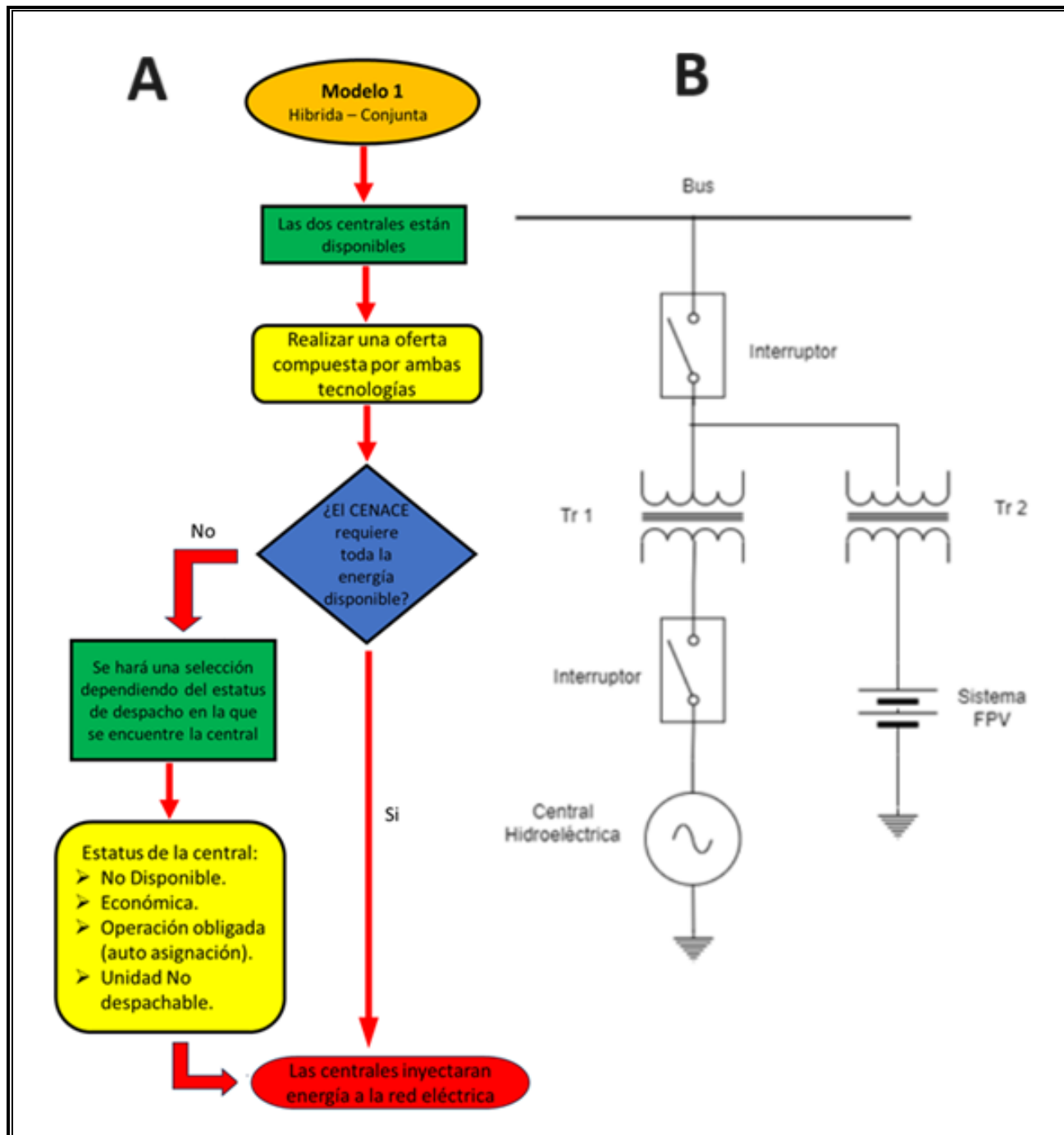


Ilustración 39 A. Diagrama de bloques Modelo 1 (Híbrida - Conjunta) B. Diagrama unifilar del Modelo 1 (Híbrida - Conjunta). Fuente propia.

- 2) **Modelo 2 Híbrida – Alterna:** esto significa que alguna de las dos tecnologías despachará primero que la otra y después saliendo de operación la primera tecnología, la segunda realizará su despacho sin que esté generando la primera y así de forma alternativa. Igual que el primer modelo se aprovecha la instalación ya existente de la central hidroeléctrica, considerando que la configuración que se tendría sería tipo paralelo con respecto al parque fotovoltaico, solo que en este sistema para poder realizar la integración se deberán incluir elementos adicionales, como sistemas de protecciones eléctricas entre otros y de esta forma obtener una adecuada operación de los equipos como se aprecia en el diagrama unifilar (*Ilustración 40*).

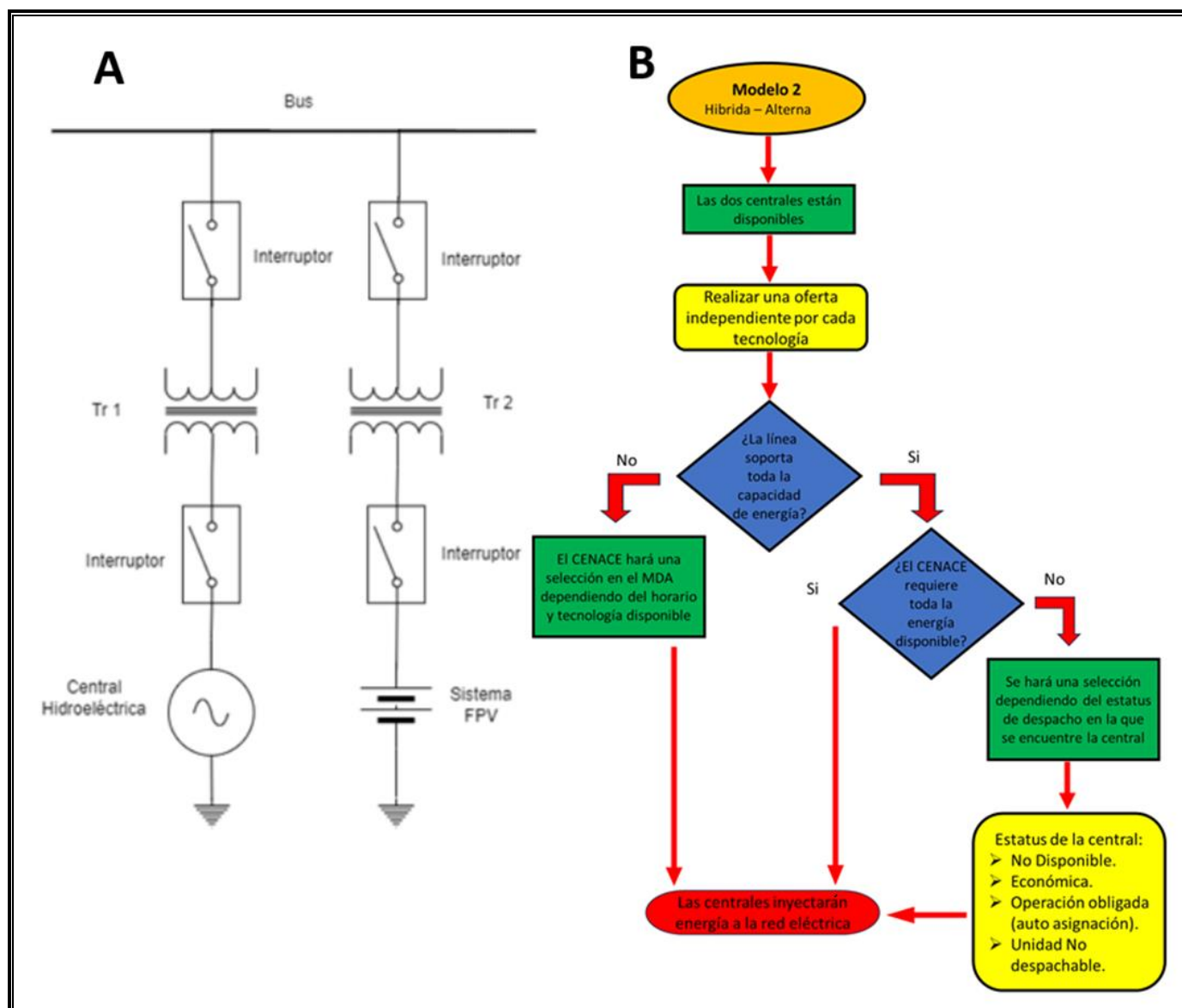


Ilustración 40 A. Diagrama unifilar del Modelo 2 (Híbrida – Alterna) B. Diagrama de bloques Modelo 2 (Híbrida – Alterna). Fuente propia.

- 3) **Modelo 3 Sistemas Aislados:** Este modelo de comportamiento consiste en que el parque fotovoltaico flotante se encuentre aislado de la central hidroeléctrica, esto quiere decir que el sistema *FPV* no se encuentra conectado a la misma subestación elevadora (alta tensión) de la central hidro sino que está conectada en otro punto, el cual sería una subestación de servicios (media tensión), como se puede observar en la **Ilustración 41**, ya que como se aprecia en el diagrama unifilar, tanto la central hidro y el parque fotovoltaico están conectados a un diferente bus.

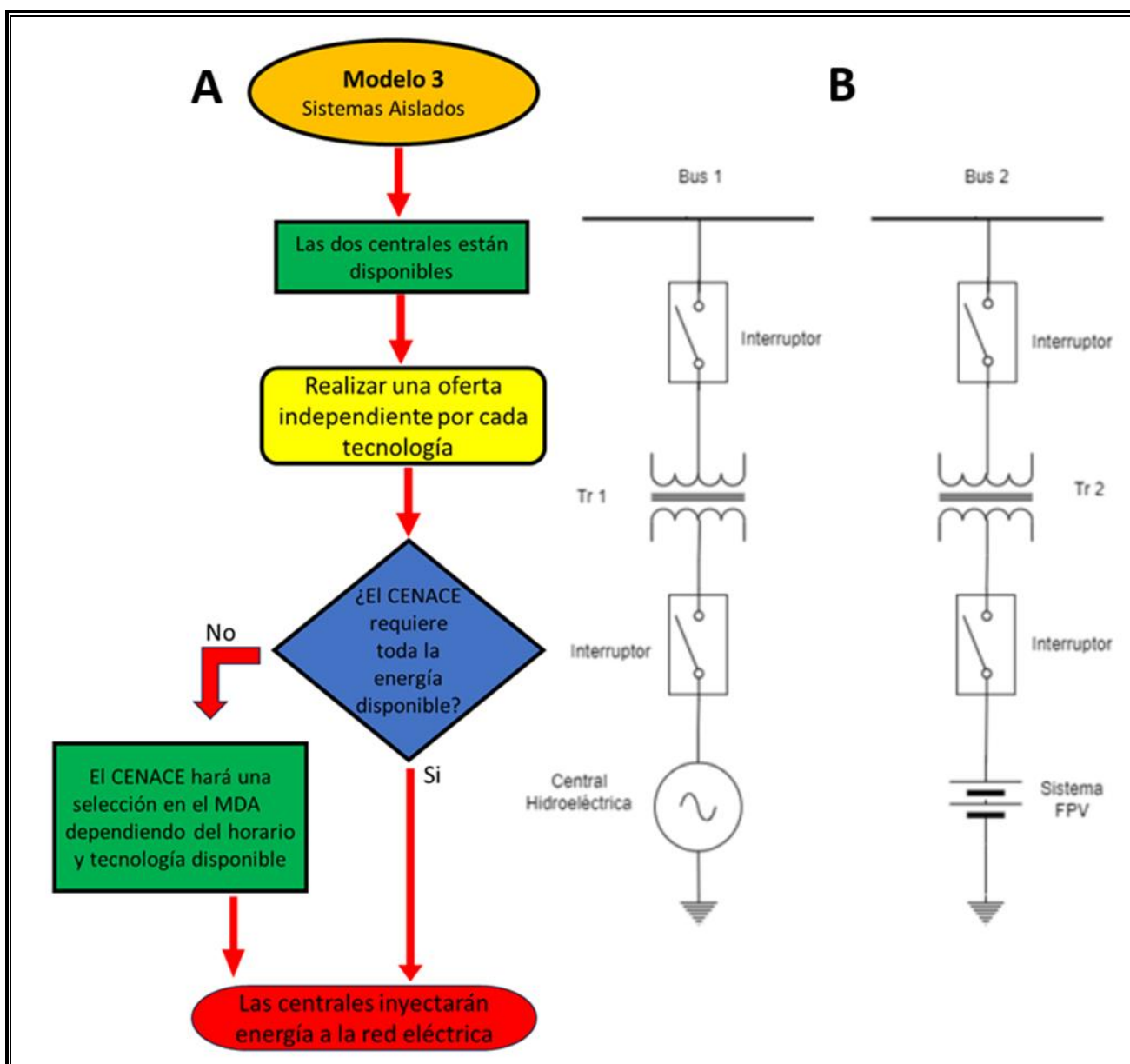


Ilustración 41 A. Diagrama de bloques Modelo 3 Sistemas Aislados B. Diagrama unifilar del Modelo 3 Sistemas Aislados. Fuente propia.

- 4) **Modelo 4 sistema de almacenamiento de energía (SAE)**, este último modelo es una combinación de los primeros modelos, para este último caso existen varias alternativas de configuración con el mismo sistema y las diversas tecnologías de SAE que están en desarrollo, pero por el momento no hay una legislación que se enfoque particularmente para este tipo de equipos y apenas está en vías de desarrollo por el momento no será considerado hasta que alcance un grado de madurez y se tenga una certeza de qué forma se operaría el sistema y qué producto ofrecería al Mercado Eléctrico Mayorista: energía de respaldo o servicios conexos (como un condensador síncrono)

La siguiente etapa (**Etapas 7**) consiste en diseñar y establecer los diversos esquemas que se requieran para el Sistema Energético, como son: ubicación local, interconexión, pruebas de arranque y estabilización, los cuales se explicarán a continuación.

- **Ubicación Local:**

Permite conocer la ubicación exacta en donde se instalará el sistema fotovoltaico flotante en algún punto estratégico de la superficie del embalse, determinado a partir de un sistema de coordenadas geográficas, con el fin de ubicar el área que mayormente favorece al proyecto. Dicho de otra forma, se deberá analizar la topografía del área de la presa para determinar la ubicación donde va a estar el sistema fotovoltaico flotante y que no exista riesgo alguno de deslave que afecte al proyecto o al personal que vaya a operarlos y mantenerlos. Por ejemplo, en la **Central Hidroeléctrica La Yesca**, la CFE ha determinado las diversas zonas de desprendimiento en el embalse como se puede observar en la **Ilustración 42**. Otro ejemplo sería con la **Central Hidroeléctrica El Cajón**, donde la CFE ha ubicado dos zonas de preparación de sitio, como también el área que va a abarcar el sistema fotovoltaico flotante y la ruta que tendría la línea de evacuación de energía que saldría del parque fotovoltaico, como se puede apreciar en la **Ilustración 43**.

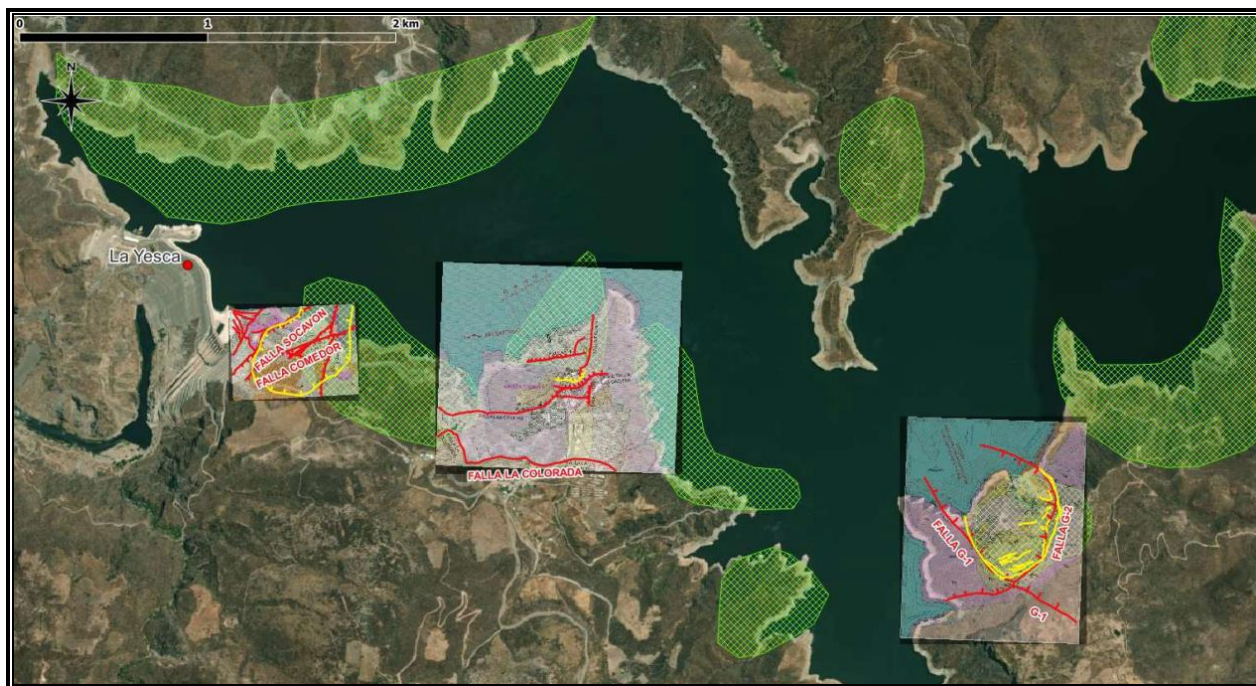


Ilustración 42 Fotografía satelital central hidroeléctrica La Yesca mostrando diversas zonas de desprendimiento en el embalse. Fuente: Agencia Francesa de Desarrollo (AFD). Informe 2 “Análisis de la Implementación de Sistemas FPV en Embalses de las CH de la CFE”.

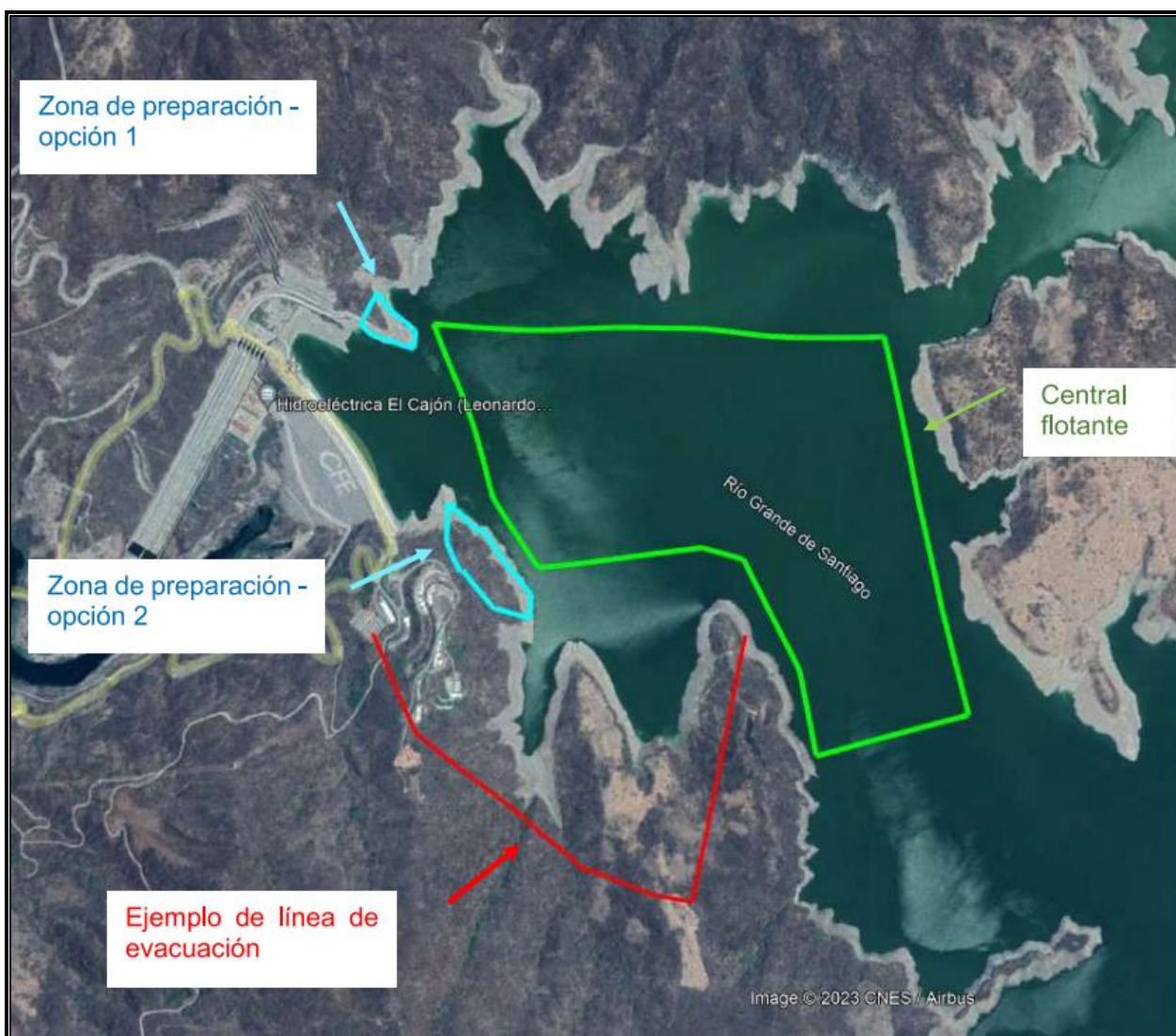


Ilustración 43 Fotografía satelital central hidroeléctrica El Cajón mostrando zonas de preparación de sitio, como también el área que va a abarcar el sistema fotovoltaico flotante y la ruta que tendría la línea de evacuación de energía. Fuente: Agencia Francesa de Desarrollo (AFD). Informe 2 “Análisis de la Implementación de Sistemas FPV en Embalses de las CH de la CFE”.

- Interconexión:

La Central Eléctrica al momento de Interconectarse al Sistema Eléctrico Nacional (**SEN**) deberá de establecer la configuración en la que los equipos eléctricos de la misma estarán conectados entre sí, con la intención de brindar una correcta operación en la central y de esta manera optimizar los procesos generando confiabilidad, continuidad y seguridad al SEN. Por lo que se consideran tres opciones de interconexión, los cuales se pueden observar en la **Ilustración 44**.

A. Híbrida – Conjunta: la intención de esta configuración es aprovechar las instalaciones ya existentes de la central hidroeléctrica disminuyendo el costo de equipos y construcción, utilizando la subestación elevadora de la misma y de esta forma inyectar la energía eléctrica proveniente del parque fotovoltaico al mismo nodo que lo hace la central hidroeléctrica.

- B. Híbrida – Alterna:** de la misma forma que la primera opción, ambas tecnologías se conectan al mismo nodo, sólo que tienen equipos independientes entre sí, propiciando una operación más flexible entre ambas tecnologías, ya que si existiera una falla entre ellas, se podría librar abriendo el interruptor. La desventaja que tendría sería un mayor costo que la primera opción ya que involucra más equipos y por lo mismo una mayor construcción.
- C. Sistemas Aislados:** en esta configuración se establece que las instalaciones de la central hidroeléctrica y del parque fotovoltaico estén conectados en diferentes nodos, esto a razón de las limitantes técnicas que tengan las instalaciones de la central hidroeléctrica, pero sin dejar a un lado la confiabilidad, continuidad y seguridad de la operación de ambas tecnologías.

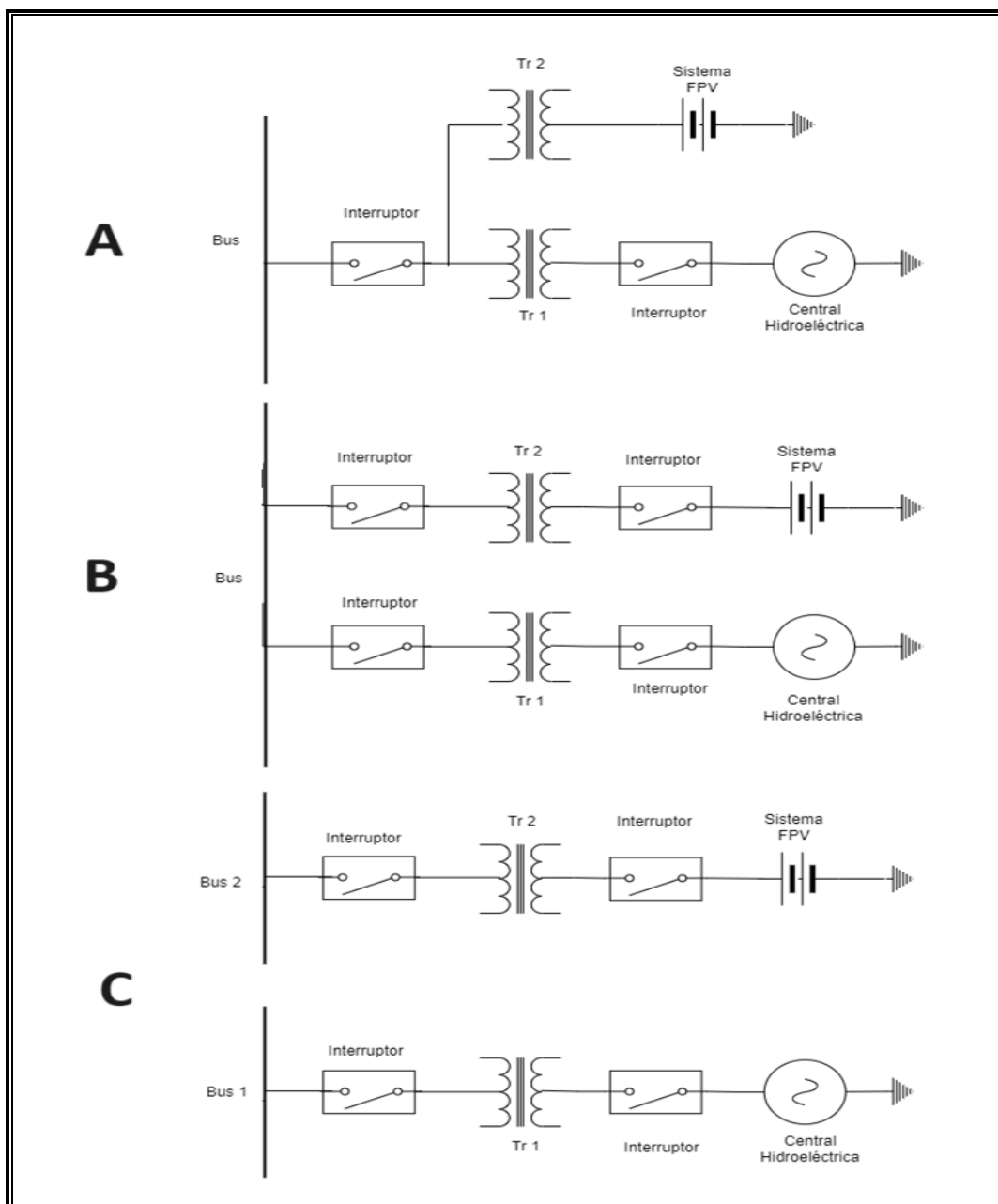


Ilustración 44 Diagramas unifilares de los tres modelos: A. Híbrida – Conjunta B. Híbrida – Alterna C. Sistemas Aislados. Fuente propia.

- Pruebas de arranque y estabilización:

En esta subsección se debe detallar el nivel de desempeño mínimo requerido en relación con los requisitos funcionales de cada uno de los equipos del sistema fotovoltaico flotante, los componentes eléctricos de un sistema *FPV* experimentan diferentes condiciones ambientales en comparación con los sistemas fotovoltaicos de montaje en tierra. En la estructura flotante se deben aplicar diversas pruebas para aprobar el rendimiento óptimo del equipo cuando ya esté puesto en operación (la **Tabla 11** detalla cada una de las pruebas) y por último en la **Tabla 12** se establecen cada una de las pruebas que se requieren en cada uno de los equipos para confirmar que están operando en condiciones óptimas.

Tabla 11 Pruebas a los flotadores. Fuente: DNV GL. Información extraída del documento: Práctica Recomendada Diseño, desarrollo y operación de sistemas solares fotovoltaicos flotantes, Edición marzo 2021.

Flotadores	
Prueba de durabilidad	La prueba de durabilidad del material debe poder caracterizar el rendimiento a largo plazo bajo carga. Una forma de evaluar la durabilidad es evaluar la fluencia dentro de los polímeros. En el caso de material polimérico, las pruebas de fluencia se llevarán a cabo de acuerdo con la norma ASTM D2990 - 17 Métodos de prueba estándar para tracción, compresión y fluencia y ruptura por fluencia de plásticos. Además de la fluencia, la resistencia del material a agrietarse bajo tensión es un buen indicador de la durabilidad. El material se someterá a una prueba de agrietamiento por tensión químicamente acelerada de acuerdo con el método de prueba estándar ASTM D1693 – 15 para el agrietamiento por tensión ambiental de plásticos de etileno.
Prueba de degradación (UV y térmica)	Los polímeros, incluido el HDPE, que se consideren para su uso como flotadores en el sistema <i>FPV</i> deberán someterse a pruebas UV aceleradas, se deben analizar al menos 3 muestras durante un período de tiempo representativo de la vida útil esperada de los flotadores Las pruebas aceleradas de degradación UV, discutidas anteriormente, tienen en cuenta el impacto de la degradación térmica en los materiales que se utilizarán en los flotadores. Los rangos de temperatura observados en estas pruebas se consideran representativos de las condiciones de la vida real y no es necesaria una evaluación adicional de la degradación térmica.
Prueba de no toxicidad	El material se someterá a pruebas para la lixiviación de sustancias que puedan ser dañinas para los humanos o el medio ambiente, incluidos: metales pesados, materiales tóxicos o microplásticos. El material se probará de acuerdo con los estándares y/o reglamentos regionales pertinentes y de acuerdo con el estándar de prueba para ese material específico.
Prueba de resistencia a la corrosión	Se deben considerar los siguientes factores al evaluar el impacto de la corrosividad en estructuras metálicas, abrazaderas y fijaciones: — nivel de humedad relativa — salinidad del cuerpo de agua (se espera que los sistemas en el agua de mar estén en un ambiente corrosivo) — diseño de los flotadores (distancia desde el nivel del agua) — altura de la ola máxima prevista (esto puede dar lugar a zonas de salpicaduras en las cuadernas). El acabado de todos los componentes metálicos deberá ser compatible con diferentes niveles de resistencia a la corrosión según la norma ISO 12944-2. Se considerarán las normas ISO 1416 y EN 10346 para el galvanizado de estructuras de acero
Prueba para flotadores	Pruebas mecánicas para flotadores individuales e interconexión de flotadores se deben realizar antes de la instalación de la estructura flotante

Tabla 12 Pruebas de puesta en servicio a CH y fotovoltaicas. Fuente: CFE. Cronograma de las pruebas de puesta en servicio de la unidad 1 Zimapán y Protocolo de energización de un parque fotovoltaico.

Central Hidroeléctrica	
Rodado Inicial de Unidad	1° Rodado de unidad en vacío a velocidad nominal 300 RPM en manual. 2° Paro de emergencia desde botón de regulador de velocidad. 3° Rodado de unidad en vacío a velocidad nominal 300 RPM en automático. 4° Paro de emergencia de unidad desde SCADA. 5° Paro de emergencia de unidad por protecciones de proceso.
Regulador de Velocidad en Vacío	1° POC Apertura/Cierre elementos finales de control (Verificación de carrera, medición de tiempos, tiempo estimado 2 hrs.) 2° Pruebas de redundancia de posición de distribuidor para validación LAPEM. 3° Prueba de Disparo por 86M simulando alarma en bajo nivel aceite chumacera guía turbina. 4° Pruebas de disparo 86E simulando protección.
Sistema de Excitación con Unidad en Vacío	1° Pruebas de arranque y paro de excitación. 2° Prueba de disparo por operación de 86E del botón de emergencia del RAT. 3° Prueba de disparo por operación de 86E por pérdida de las UCE's. 4° Prueba de secuencia de fases. 5° Prueba de forma de onda. 6° Prueba de energización inversa o simulación de sincronización (Verificar aislado estator, aislado Trafo Exc, aislado Trafo SP).
Puesta en Servicio del Sistema de Control	1° Prueba de arranque de unidad en modo local, excitación gradual y sincronización como generador con 4 MW. 2° Prueba de arranque de unidad y sincronización como generador con 4 MW para verificación de mediciones de sistemas en SCAAD. 3° Prueba de disparo de unidad por protección eléctrica 86E. 4° Prueba de disparo de unidad por protección regulador de velocidad 86M. 5° Prueba de disparo de unidad por protección eléctrica 86G.
Saturación de Temperaturas	1° Prueba de arranque de unidad y sincronización como generador, toma 4 MW. 2° Pruebas de saturación de temperaturas con la unidad con 40 MW, 80 MW, 120 MW y 152 MW monitoreando las vibraciones.
Regulador de Velocidad con Carga	1° POC Variador de Carga (65P, Desde potencia mínima hasta Potencia máxima 65P> 90%). 2° POC Estatismo y banda muerta. 3° POC Escalones de potencia (10% de Pnom). 4° POC Rechazo de Carga. 5° POC Operación en isla.
Sistema de Excitación con Carga	1° POC Limitador de máxima excitación. (OEL Entre 0.95 y 1.05 p.u de corriente nominal de campo) 2° POC Compensador de MVAR. 3° Prueba de perturbación de reactivos. 4° Prueba de rechazo de reactivos.
Unidad con Carga	1° Prueba pérdidas por ventilación (máquina rodando en vacío sin excitación) Prueba de pérdidas de la acero (prueba en vacío excitando a tensión nominal). 2° Prueba de pérdidas complementarias de corto circuito (prueba en vacío excitando a tensión nominal). 3° Prueba de pérdidas en chumaceras (máquina sincronizada al .8Pn, 0.9Pn Y Pn). 4° Prueba de condensador síncrono. 5° POC Rango de frecuencia / UNIDAD CON 40 MW. 6° POC Control primario de frecuencia / UNIDAD CON 40 MW. 7° POC Control secundario de frecuencia (AGC) / UNIDAD CON 115 MW. 8° POC Rango de tensión en el punto de interconexión / UNIDAD CON 40 MW. 9° POC Capacidad de potencia reactiva a potencia máxima / UNIDAD CON 152 MW. 10° POC Capacidad de potencia reactiva debajo de la potencia máxima / UNIDAD CON 140 MW. 11° POC Control de tensión en condiciones dinámicas o de falla / UNIDAD CON 40 MW. 12° POC 37 Resincronización rápida / UNIDAD CON 4 MW.
Central Fotovoltaica Flotante	
Equipo Fotovoltaico	1° Pruebas de conexión cajas string. 2° Prueba de verificación de polaridad y voltaje en cajas string. 3° Prueba de verificación de caída de tensión en cable de Baja Tensión. 4° Prueba de verificación de par de apriete en conexiones string, Baja Tensión y Media Tensión. 5° Prueba de verificación del 10% de Curva I/V 6° Pruebas de continuidad en red de tierra. 7° Pruebas de red de tierra a las cajas string. 8° Pruebas de red de tierra en anillos de red de tierra en inversores. 9° Prueba en cierre y apertura de interruptores de cajas string.
Sistema Flotante	1° Prueba de durabilidad. 2° Prueba de degradación (UV y térmica). 3° Prueba de no toxicidad. 4° Prueba de resistencia a la corrosión. 5° Prueba para flotadores.
Nota: Pruebas de Operación Comercial (POC)	

Y la última etapa (**Etapla 8**) consiste en definir la arquitectura del Sistema Energético junto con su ciclo de vida, para esto se deberá realizar un Análisis del Ciclo de Vida (ACV). La cual es una metodología que permite de manera objetiva estimar y evaluar los impactos que se producen al momento de fabricar un producto o ejecutar algún servicio, ya que se pueden generar afectaciones sobre el medio ambiente durante todas las etapas del ciclo de vida, por lo que es necesario que el estudio defina su alcance, lo que quiere decir, qué tanto va a abarcar el estudio. Si será “**de la cuna a la puerta**”, refiriéndose a solamente una parte del proceso, que es la extracción de las materias primas, construcción, operación y mantenimiento o “**de la cuna a la tumba**” que se refiere a todo el proceso incluyendo la etapa final que es el reciclaje o si bien desecho como tal. Una vez establecido los límites del estudio se deberá continuar con la identificación del conjunto de procesos unitarios o subsistemas que permiten producir el producto en estudio, que en este caso es la generación de 1 MWh bruto inyectado al Sistema Eléctrico Nacional (**SEN**). Esto incluye la obtención de los recursos primarios, todos los procesos de fabricación y transporte de los componentes del producto y sus materias primas (tecnosfera), además de todas las fases del ciclo de vida anteriormente mencionadas.

Todas las actividades y procesos generan algún tipo de impacto ambiental, consumen recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su vida útil; por este motivo es importante valorarlos, ya que pueden influir en diversos aspectos como son: calentamiento global, eutrofización del agua dulce, consumo de agua, uso del suelo, entre otros. La intención que tiene la **Ilustración 45** es mostrar de forma gráfica los beneficios que se tienen al instalar los sistemas fotovoltaicos flotantes en los embalses de las centrales hidroeléctricas, pero sin dejar a un lado las posibles afectaciones con sus respectivas categorías de impacto que podrían ocasionar daños al medioambiente al momento de realizar la construcción, operación y mantenimiento del parque fotovoltaico.

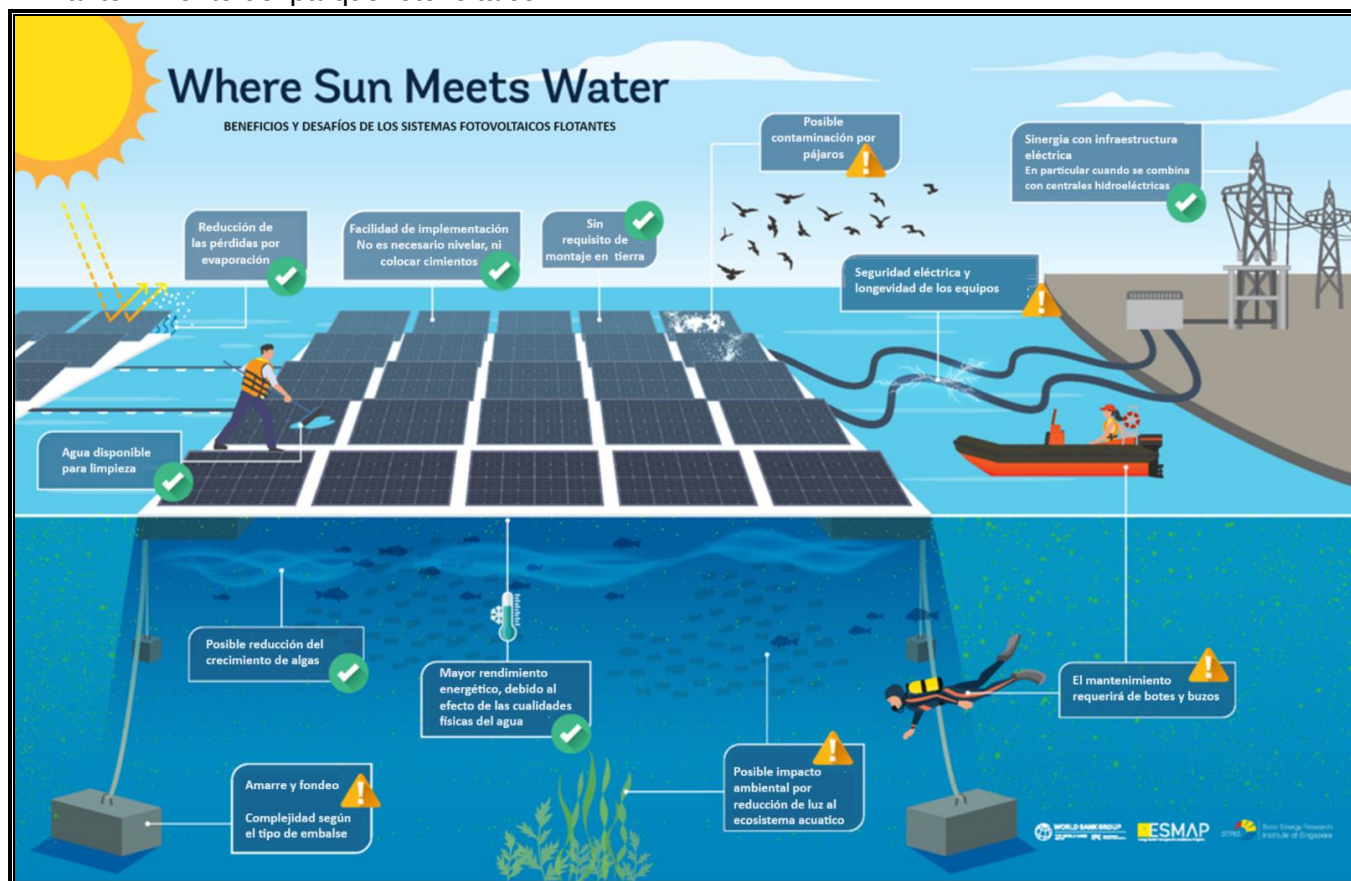


Ilustración 45 Beneficios y desafíos de los sistemas fotovoltaicos flotantes. Fuente: NRG ISLAND. Solar Flotante

4.3. Operativo.

El personal operativo (los operadores) de una central eléctrica tienen varias funciones, ya que son los responsables de la seguridad de los equipos mecánicos y eléctricos, los cuales son los que realizan el proceso necesario para la generación de energía eléctrica, la cual va a depender de la fuente primaria y tecnología utilizada por la central. Por lo que los operadores realizan inspecciones periódicas a los equipos, registrando temperaturas, presiones y alguna otra información importante para mantener a los equipos en operación nominal, asimismo los operadores son los responsables de arrancar y detener a los generadores, como también de sincronizar y ajustar la salida de voltaje de generación dependiendo de las necesidades que tenga en cada momento el Sistema Eléctrico Nacional, sin alterar al sistema (manteniendo los 60 Hz). Ellos deben conocer todos los sistemas eléctricos y mecánicos que conforman a la central generadora para poder solucionar problemas en la instalación y mantener la confiabilidad de la misma, por lo que los operadores deben responder a una emergencia y conocer los procedimientos establecidos para enfrentar la contingencia y lograr su restablecimiento.

Dicho lo anterior se deberán determinar los procedimientos técnicos y acciones orientadas a la Operación y Mantenimiento (**O&M**) de los sistemas fotovoltaicos flotantes, ya que éstos están comprendidos por componentes eléctricos, estructuras flotantes, cuarto de control y algunos otros elementos anteriormente mencionados en capítulos anteriores. Todo este conjunto de elementos conforman un sistema eléctrico de potencia el cual debe de garantizar la longevidad de vida útil de los equipos, la confiabilidad operativa, la seguridad y eficiencia del Sistema Eléctrico Nacional. Los aspectos de seguridad siempre deben estar incluidos en los planes y manuales de O&M, para posteriormente ser aplicados y respetados por el personal que va a trabajar en el parque fotovoltaico flotante para que, de esta forma, se mantenga la salud y seguridad para los trabajadores que operen este tipo de parques fotovoltaicos. Como, por ejemplo, se puede observar la **Tabla 13** que muestra diversos factores a considerar del sistema flotante para que opere correctamente.

Deben definirse las restricciones meteorológicas aplicables a la O&M de los sistemas *FPV* y deben tenerse en cuenta las incertidumbres en los pronósticos meteorológicos, también se deberá mantener el stock actualizado en almacén para realizar los repuestos cuando se requieran y así mantener de forma óptima el sistema *FPV*. Es indispensable que los procedimientos de *mantenimiento preventivo* y *mantenimiento correctivo* deban estar muy bien identificados para establecer los tiempos en el cronograma de trabajo, por lo cual, algunas actividades que se realizan en estos mantenimientos son:

- Revisión del historial y horas de operación después del último mantenimiento. (*FPV y Central Hidroeléctrica*)
- Medición de amplitud de vibraciones. (*FPV y Central Hidroeléctrica*)
- Meggado de cable cortados antes de la conexión. (*FPV y Central Hidroeléctrica*)
- Aplicación de estudio termográfico de conexiones en cajas string e inversores de corriente y racks de baterías. (*FPV*)
- Aplicación de estudio termográfico en diversos equipos como transformadores de excitación y elevadores, puentes rectificadores, chumaceras, algunos otros equipos del generador, etc. (*Central Hidroeléctrica*)
- Sellado con espuma de poliuretano de tubería de STRING. (*FPV*)

- Limpieza de cajas string y gabinetes de CCTV, Comunicación, algunos otros equipos del generador. (FPV y Central Hidroeléctrica), entre otras.

Tabla 13 Requisitos funcionales para flotadores. Fuente: DNV GL. Información extraída del documento: Práctica recomendada para el diseño, desarrollo y operación de sistemas solares fotovoltaicos flotantes, Edición marzo 2021.

<i>Requisitos funcionales flotantes</i>	<i>flotadores de módulos fotovoltaicos</i>	<i>Flotadores de cajas combinadoras /inversores</i>	<i>Flotadores transformadores</i>	<i>Flotadores de cableado</i>	<i>flotadores de pasarela</i>	<i>Flotadores de estructura de montaje</i>	<i>Flotadores del sistema de amarre</i>	<i>Interconexiones flotantes</i>
Mantenerse a flote y mantener su integridad estructural	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Retener el equipo tal como fue diseñado	✓	✓	✓	✓		✓		
Permitir actividades de mantenimiento sin restricciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Proporcionar una plataforma estable para el transformador			✓					
Minimice las tensiones en todos los cables	✓	✓	✓	✓				
Proporcionar una plataforma adecuada para las actividades de mantenimiento			✓		✓			
Acceso sin restricciones a otros flotadores contiguos					✓			
Soportar y distribuir todas las fuerzas esperadas durante su vida útil de diseño	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Proporcionar una solución de cableado seguro				✓				
Mantenga varios flotadores conectados según lo diseñado para su vida útil								✓

Otro requerimiento importante es contar con un archivo con los planos y manuales de O&M para operar a la central de forma correcta. De esta forma se cubrirán los escenarios de falla identificados a través de una evaluación de riesgos, asimismo se recomienda incluir e implementar procedimientos de *mantenimiento predictivo*, el cual es útil para prever contratiempos de manera oportuna y potencialmente evitar fallas futuras en todo el sistema.

Otra obligación importante que deben realizar los operadores de las centrales, es presentar ofertas diarias los 365 días del año, aun cuando la central no tenga disponibilidad de generar (es decir, una disponibilidad de cero), por lo que a continuación se presentan tres tipos de ofertas que se podrían aplicar al momento de efectuar la inclusión de sistemas fotovoltaicos flotantes en Centrales Hidroeléctricas, mostrándose en un hoja de cálculo en la cual se plasma en un formato de 24 horas y de 10 segmentos la disponibilidad de una Unidad de Central Eléctrica (**UCE**), la cual va a depender del tipo de tecnología y se podrá presentar ya sea por unidad o paquetes, además de definirse varios límites operativos de las unidades como son: de potencia mínima y máxima, costos de arranque y de operación a potencia mínima, adicionalmente se le agrega una tabla de servicios conexos.

Los tres tipos de ofertas que se presentan son:

a) Hidroeléctrica de Gran Escala.

Al momento de realizar la oferta para una central hidroeléctrica de gran escala (se puede observar en el ejemplo de la **Ilustración 46**), que ésta debe mostrar varios puntos, los cuales son: La central de la cual se está ofertando, la unidad específica ofertada, a qué sistema está interconectada la central, la fecha inicial y final de la oferta, en qué estatus de asignación se encuentra la central/unidad generadora, asimismo presentar una oferta para cada hora del día (de la hora 1 a la hora 24) en el que se establecerán los límites máximos y mínimos de despacho y la potencia de diversos tipos de reservas con la potencia que puede proporcionar y el costo en el que ofertarían la energía y los servicios de los tipos de reserva, como se observa en la **Tabla 14**.

Tabla 14 Variables a considerar en la oferta de una central hidroeléctrica de gran escala. Fuente: CENACE. Glosario de términos de las ofertas de venta.

Estatus de asignación de la Unidad de Central Eléctrica	Estatus asignación: * No disponible, * Económica * Operación Obligada
Límites de despacho económico, máximo y mínimo	* Límite de despacho maximo (MW) * Límite de despacho minimo (MW)
Oferta incremental basada en costo de oportunidad	Costo de Oportunidad (\$/MWh)
Oferta de venta para Regulación Secundaria de Frecuencia	* Reserva regulación secundaria (MW) * Costo Reserva regulación secundaria (\$/MW)
Oferta de venta para Reserva Rodante de 10 minutos	* Reserva rodante 10 min (MW) * Costo Reserva rodante 10 min (\$/MW)
Oferta de venta para Reserva No Rodante de 10 minutos	* Reserva no rodante 10 min (MW) * Costo Reserva no rodante 10 min (\$/MW)
Oferta de venta para Reserva Rodante Suplementaria	* Reserva rodante suplementaria (MW) * Costo Reserva rodante suplementaria (\$/MW)
Oferta de venta para Reserva No Rodante Suplementaria	* Reserva no rodante suplementaria (MW) * Costo Reserva no rodante suplementaria (\$/MW)

Oferta Hidroeléctrica

Estatus de asignación

No disponible

X Económica

Operación Obligada

Fecha inicial:

26/04/2024

Fecha final:

26/04/2024

Central:

Unidad:

Sistema

BCA

BCS

X SIN

Oferta económica

Límites de despacho y Oferta de reserva de generación

		Límites de despacho		Oferta de reserva de generación									
Hora	ID_SUB_INT	Lim. Despacho máx.	Lim. Despacho mín.	Reserva rodante de 10 min		Reserva no-rodante de 10 min		Reserva rodante suplementaria		Reserva no-rodante suplementaria		Reserva de regulación secundaria	
		MW	MW	MW	\$/MWh	MW	\$/MWh	MW	\$/MWh	MW	\$/MWh	MW	\$/MWh
1	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
2	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
3	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
4	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
5	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
6	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
7	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
8	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
9	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
10	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
11	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
12	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
13	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
14	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
15	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
16	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
17	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
18	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
19	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
20	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
21	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
22	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
23	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
24	1	179.190	159.240	19.950	51.35	179.190	32.09	19.950	51.35	179.190	32.09	19.190	64.19
25	1												

Ilustración 46 Oferta de venta de energía de una central hidroeléctrica de gran escala. Fuente: CFE - Unidad de Gestión de la Energía y Productos Asociados de la Subdirección de Negocios no Regulados.

b) Mini Hidroeléctrica.

Igual que el inciso anterior las centrales hidroeléctricas a filo de agua (mini hidro) deben presentar diario una oferta de generación al CENACE con algunos datos: La central de la cual se está ofertando, la unidad específica ofertada, a qué sistema esta interconectada la central, la fecha inicial y final de la oferta, y la diferencia que tiene con respecto a la oferta pasada es que en cada hora será la misma potencia ofertada con base a un pronóstico hidrológico de la cuenca y su costo variable de generación de energía, como se puede observar el ejemplo de la **Ilustración 47**.

Oferta No Despachable

Fecha inicial: 26/04/2024
Fecha final: 26/04/2024
Central:
Unidad:

Sistema
☐ BCA
☐ BCS
☒ SIN

Oferta económica

Oferta incremental

Hora	ID_SUB_INT	MW	\$/MW
1	1	3.800	111.13
2	1	3.800	111.13
3	1	3.800	111.13
4	1	3.800	111.13
5	1	3.800	111.13
6	1	3.800	111.13
7	1	3.800	111.13
8	1	3.800	111.13
9	1	3.800	111.13
10	1	3.800	111.13
11	1	3.800	111.13
12	1	3.800	111.13
13	1	3.800	111.13
14	1	3.800	111.13
15	1	3.800	111.13
16	1	3.800	111.13
17	1	3.800	111.13
18	1	3.800	111.13
19	1	3.800	111.13
20	1	3.800	111.13
21	1	3.800	111.13
22	1	3.800	111.13
23	1	3.800	111.13
24	1	3.800	111.13
25	1		

Ilustración 47 Oferta de venta de energía de una central mini hidroeléctrica. Fuente: CFE - Unidad de Gestión de la Energía y Productos Asociados de la Subdirección de Negocios no Regulados.

c) Recursos Intermitentes Despachables (Energía Renovables: Fotovoltaico y Eólico).

En esta oferta las unidades no pueden comprometer, su despacho horario y el CENACE toma lo más que puede aportar la central, (se puede observar en el ejemplo de la **Ilustración 48**) por lo que la oferta de la central debe contener: La central de la cual se está ofertando, la unidad específica ofertada, a qué sistema está interconectada la central, la fecha inicial y final de la oferta, y al momento de presentar su oferta para cada hora del día (de la hora 1 a la hora 24) ésta debe contener tres pronósticos de probabilidad de recurso (0 al 100%) por condiciones meteorológicas y el costo de generación estará sujeto a indicaciones del CENACE.

Oferta Renovable

Fecha inicial:	26/04/2024	Fecha final:	26/04/2024	Central:	04FPP	Unidad:	04FPP-PM1
----------------	------------	--------------	------------	----------	-------	---------	-----------

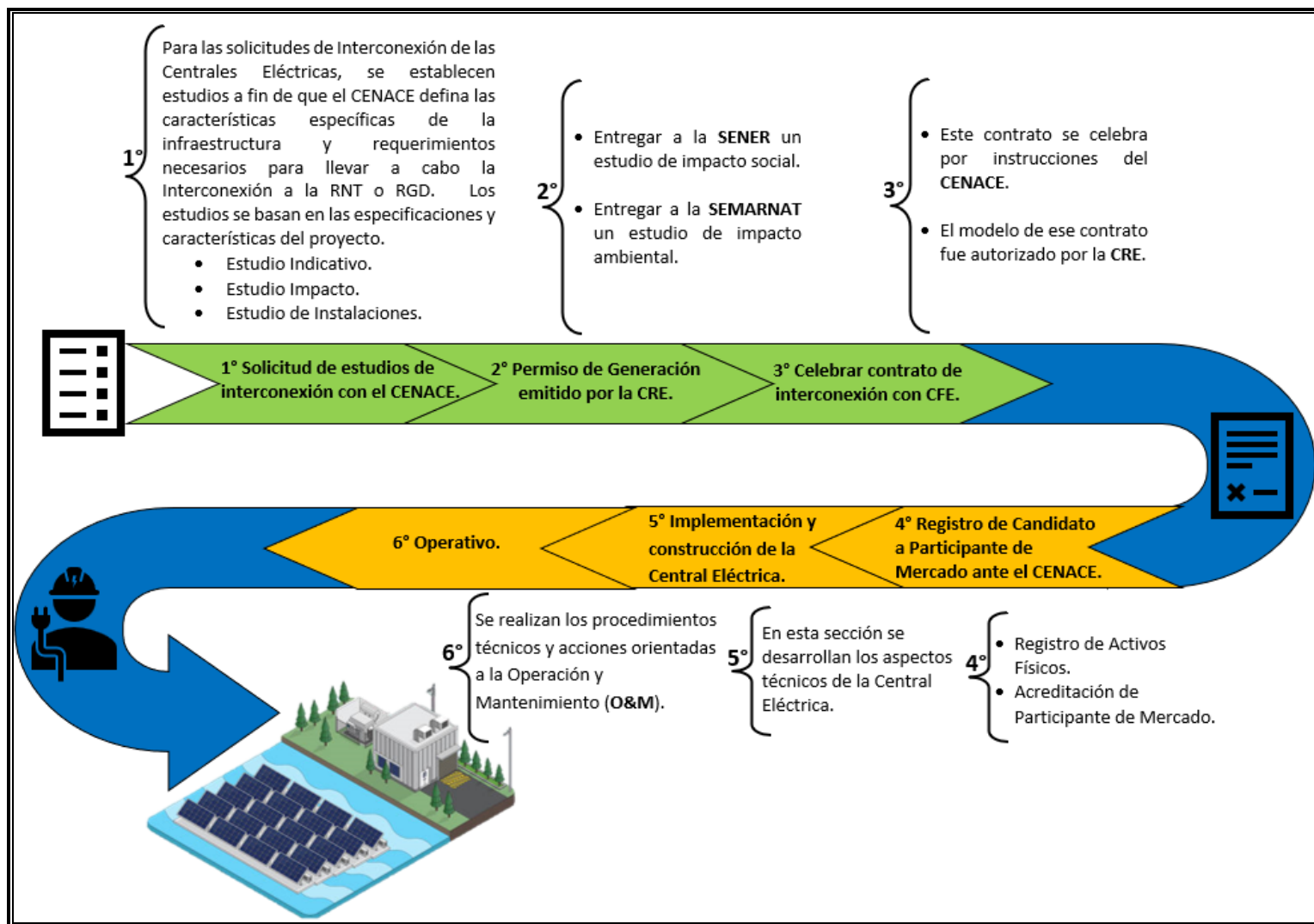
Sistema	BCA
	BCS
	X SIN

Oferta económica

Hora	ID_SUB_INT	Pronóstico en MW	Oferta Incremental					
			1		2		3	
			% Pronóstico	\$/MWh	% Pronóstico	\$/MWh	% Pronóstico	\$/MWh
1	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
2	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
3	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
4	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
5	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
6	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
7	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
8	1	4.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
9	1	40.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
10	1	95.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
11	1	117.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
12	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
13	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
14	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
15	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
16	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
17	1	120.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
18	1	95.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
19	1	55.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
20	1	20.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
21	1	10.000	100.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
22	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
23	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
24	1	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
25	1							

Ilustración 48 Oferta de venta de energía de un parque fotovoltaico (Puerto Peñasco). Fuente: CFE - Unidad de Gestión de la Energía y Productos Asociados de la Subdirección de Negocios no Regulados.

Para culminar este capítulo se muestra la **Ilustración 49**, la cual representa un cronograma que busca establecer una ruta de actividades específicas que deben cumplirse en determinados tiempos para así lograr que el proyecto de la central fotovoltaica flotante sea culminado exitosamente.



Conclusiones y Recomendaciones.

Dado que el concepto de planta fotovoltaica flotante es reciente y aún poco explorado, actualmente no existen suficientes estudios sistemáticos sobre los posibles impactos causados por dichas instalaciones, en especial, con referencia a la influencia sobre la afectación ecológica de la masa de agua receptora. Sin embargo, la instalación de parques fotovoltaicos flotantes ha tenido un mayor auge a nivel mundial, debido a la creciente demanda de energía eléctrica. México no ha sido la excepción, pues ha despertado su interés en aprovechar este tipo de tecnología, ya que el país cuenta con una ubicación y topología privilegiada que lo hace contar con bastante recurso hídrico, como además absorber altos niveles de irradiación solar en todo el territorio mexicano. Por este motivo la CFE está desarrollando proyectos de generación híbrida renovable, por lo cual se ha dado a la tarea de identificar las centrales hidroeléctricas que cuenten con las condiciones más idóneas para su instalación.

Para concluir este trabajo de tesis, es importante discutir sobre los distintos aspectos que se analizaron para poner en operación este tipo de tecnología:

Es importante conocer el marco regulatorio que rige la industria eléctrica ya que se encuentra estrictamente controlada y supervisada bajo el control del Estado, quien ostenta la exclusividad de la soberanía energética, por lo que le corresponde al participante del mercado (Generador, Usuario Calificado, Suministrador de Servicios Básicos, Suministrador de Servicios Calificados, Suministrador de Último Recurso y Comercializador) estar informado sobre cuáles son las obligaciones que éste conlleva como también las que tienen los organismos públicos (SENER, CRE, CENACE y CFE).

Dicho lo anterior es importante mencionar los siguientes oficios legales que involucran tanto a los participantes de mercado como también a los organismos encargados de la materia energética del país, iniciando con el permiso de generación que otorga la CRE, en el cual se favorece la participación para el mercado eléctrico mayorista donde las empresas generadoras podrán vender diversos productos enfocados a energía (energía eléctrica, servicios conexos, potencia, derechos financieros de transmisión y certificados de energía limpia) a diversos participantes, ya sea Suministradores o Comercializadores, así como entrar directamente a la venta en el mercado o en su caso en abasto aislado (generando electricidad para la satisfacción de necesidades propias). Otro documento importante es el contrato de interconexión que autorizado por el CENACE, da acceso abierto tanto para las empresas públicas y privadas, para que las centrales eléctricas sean interconectadas a la red nacional de transmisión o a las redes generales de distribución, sólo y cuando la interconexión de las centrales eléctricas y conexión de centros de carga cumplan con lo establecido en el Código de Red en sus diversos criterios (Planeación, Operación, Interconexión y Ciberseguridad).

Como ya se ha mencionado, de acuerdo con la Carta Magna, corresponde al Estado Mexicano la rectoría del desarrollo nacional, por lo que el Estado tiene facultad para planear, conducir, coordinar y orientar la actividad económica nacional, incluyendo la Industria Eléctrica. En este sentido cabe mencionar que la forma en la que el Estado Mexicano ejerce su soberanía es a través de los siguientes organismos que están conformados por: La Secretaría de Energía (**SENER**) la cual promueve la electrificación de las comunidades tanto urbanas como rurales; la Comisión Reguladora de Energía (**CRE**) que establece las tarifas de Transmisión, Distribución, Suministro Básico en colaboración con la Secretaría de Hacienda; la operación del sistema eléctrico nacional le corresponde al Centro Nacional de Control de Energía (**CENACE**) y finalmente a través de la Empresa Productiva del Estado Suministro Básico (**CFE**), vende la electricidad a los ciudadanos y la cobra a través de una tarifa regulada establecida por el mismo Estado.

Del análisis regulatorio realizado para evaluar la viabilidad de este tipo de proyectos no se encuentran impedimentos en los aspectos legales, ya que en la Ley de la Industria Eléctrica en su artículo tercero señala que entre las energías limpias se considera a la radiación solar en todas sus formas, por lo que se puede decir que esto incluye implícitamente a cualquier tipo de planta fotovoltaica flotante. De igual manera esta idea es reforzada en el artículo tercero de la Ley de Transición Energética que considera a la radiación solar en todas sus formas dentro de la categoría de energía renovable. Dicho lo anterior, tampoco se encuentran impedimentos en la gestión de procedimientos administrativos como lo son: el permiso de generación, en el cual se debe entregar a la SENER una evaluación de impacto social (**EVIS**) y un estudio de impacto ambiental (**MIA**) a la SEMARNAT; contrato de interconexión, se debe realizar el estudio indicativo, el estudio de impacto y el estudio de instalaciones para definir las características específicas de la infraestructura y requerimientos necesarios para llevar a cabo la interconexión a la red general de transmisión; cumplimiento del Código de Red que mediante estudio técnico se debe de cumplir con los cuatro criterios técnicos (planeación, operación, interconexión y ciberseguridad) para la instalación y operación del parque fotovoltaico flotante; y por último la participación en el mercado eléctrico mayorista, donde se debe de acreditar como participante de mercado para posteriormente presentar las ofertas diarias en el MEM.

Sin embargo, también resulta relevante mencionar que como resultado de dicho análisis, se observa que, el mayor obstáculo que enfrentará la CFE para implementar sistemas fotovoltaicos flotantes serán diversos problemas técnicos al momento de coordinar y acoplar ambas tecnologías, por ejemplo: sincronizar una generación que lleva una inercia física (60 Hz) de corriente alterna con una generación estática de corriente directa, otro caso sería reconstruir las instalaciones eléctricas para el caso de las subestaciones encapsuladas para poder acoplar los sistemas *FPV*. Otro reto sería resolver la oferta de energía generada por ambas tecnologías para no saturar la subestación, entre otras situaciones.

Por este motivo se recomienda hacer un estudio, para cada uno de los proyectos en puerta, con el fin de detectar problemas particulares para la implementación de estas tecnologías. Por otro lado, se deberá prever una legislación específica para la regulación de los sistemas híbridos, como también para los Sistemas de Almacenamiento de Energía que se encuentran en vías de desarrollo. Por esto las instancias gubernamentales tienen que establecer las directrices que se tomarán para cada uno de estos casos (generación híbrida renovable y SAE) de modo que estos dos factores no se consideren como barreras en un futuro para el aprovechamiento de las energías renovables y esto a su vez impacte negativamente con tener un mayor porcentaje de participación en el matriz de generación en México.

Es importante resaltar que este trabajo no considera la parte financiera del proyecto, ni el impacto social que este tipo de sistemas generaría. Si bien es cierto que son una clave importante para que se logre el proceso de construcción de los sistemas *FPV*, queda pendiente para consideración de un futuro trabajo de investigación, analizar y evaluar con un mayor alcance ambos factores. Por este motivo se recomienda realizar un profundo estudio económico y también un estudio de análisis de ciclo de vida, ya que, si bien el manifiesto de impacto ambiental no lo solicita, es recomendado para tener identificadas las afectaciones ambientales que generaría un sistema fotovoltaico flotante en el embalse.

Por otra parte, considerando el aspecto medioambiental es necesario tomar con mucha cautela la puesta en marcha de este tipo de sistemas *FPV*, estableciendo programas de seguimiento con el fin de conocer las características de estas instalaciones de forma particular, para plantear los posibles impactos que se puedan generar, y de esta manera establecer los requisitos que se deban exigir al promoviente de la planta de generación y que cumpla con la normativa vigente aplicable. Ya que estos sistemas de generación eléctrica en ecosistemas forzados como lo son

los embalses de las centrales hidroeléctricas, pueden tener efectos adversos sobre la productividad de los mismos, sobre la calidad del agua o incluso sobre la biota que en ellos se asienta, por lo que es necesario conocer cuáles son las potenciales problemáticas asociadas a este nuevo uso del sistema hidráulico.

Y finalmente, en el desarrollo de los sistemas *FPV* será necesario evaluar cuáles son los impactos asociados y las medidas que permitirían minimizarlos, si puede ser compatible con la sustentabilidad de la vida acuática, como también considerar que no todos los embalses son iguales, tanto en características geográficas, hidrológicas, como de calidad de agua, productividad y fauna piscícola que presente cada uno de los embalses. Por lo tanto, también se debe evaluar qué tipo de embalses soportan mejor este tipo de tecnologías.

Anexo Único.

1. Ley de la Industria Eléctrica.

- **Artículo 13:** Haciendo referencia al título segundo de **la Industria Eléctrica**, del capítulo uno de **la Planeación y el Control del Sistema Eléctrico Nacional**; el artículo promueve la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda en el SEN y cumplir con los objetivos de Energías Limpias, procurando la operación del SEN en condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad.
- **Artículo 17:** Haciendo referencia al título segundo de **la Industria Eléctrica**, del capítulo dos de **la Generación de Energía Eléctrica**; el artículo establece que los permisionarios y sus representantes están obligados al cumplimiento de las Reglas del Mercado. El permisionario o una persona distinta a él podrán representar total o parcialmente a cada Central Eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista, en los términos permitidos por las Reglas del Mercado.
- **Artículo 71:** Haciendo referencia al título segundo de **la Industria Eléctrica**, del capítulo ocho del **Uso y Ocupación Superficial**; el artículo establece que la industria eléctrica se considera de utilidad pública, por lo que procederá a la ocupación o afectación superficial o la constitución de servidumbres necesarias para prestar el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, y para la construcción de centrales de generación de energía eléctrica.
- **Artículos 117 y 120:** Haciendo referencia al título cuarto **Disposiciones aplicables a los Integrantes de la Industria Eléctrica**, del capítulo dos del **Impacto Social y Desarrollo Sustentable**; los artículos establecen que los proyectos de infraestructura de los sectores público y privado en la industria eléctrica atenderán los principios de sostenibilidad y respeto de los derechos humanos de las comunidades y pueblos de las regiones en los que se pretendan desarrollar centrales eléctricas, y de igual forma los interesados en la obtención de permisos o autorizaciones deberán presentar a la SENER una evaluación de impacto social que deberá contener la identificación, caracterización, predicción y valoración de los impactos sociales que podrían derivarse de sus actividades, así como las medidas de mitigación correspondientes.
- **Artículo 121:** Haciendo referencia al título cuarto **Disposiciones aplicables a los Integrantes de la Industria Eléctrica**, del capítulo tres de **las Obligaciones de Energías Limpias**; el artículo establece que a la SENER le corresponde implementar mecanismos que permitan cumplir con las políticas en materia de diversificación de fuentes de energía, seguridad energética y la promoción de fuentes de Energías Limpias. También informa la ley que la SENER deberá establecer las obligaciones para adquirir Certificados de Energías Limpias (CEL) e instrumentar los demás mecanismos que se requieran para dar con el cumplimiento a la política en la materia, y de esta forma lograr convenios que permitan su homologación con los instrumentos correspondientes de otras jurisdicciones.
- **Artículo 135:** Haciendo referencia al título cuarto **Disposiciones aplicables a los Integrantes de la Industria Eléctrica**, del capítulo cinco de **la Estandarización, Normalización, Confiabilidad y Seguridad**; el artículo establece que el CENACE solicitará la autorización de la CRE para llevar a cabo subastas eléctricas, con el fin de adquirir mayor capacidad de potencia eléctrica, cuando lo considere necesario para asegurar la confiabilidad del SEN; además de mencionar que la CRE expedirá protocolos para que el CENACE gestione la contratación de potencia en casos de emergencia.

2. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.

- **Artículos 17, 20 y 26:** Haciendo referencia al título primero de **las Disposiciones Generales**, del capítulo tres de **los Permisos y Autorizaciones**; los artículos establecen que los permisionarios de generación adoptarán las medidas adecuadas para el cumplimiento de las NOM y demás especificaciones obligatorias, también asumirán los riesgos procedentes de cualquier circunstancia que pueda impedir o modificar las condiciones de funcionamiento de la Central Eléctrica y la disponibilidad de energía de la misma; así mismo se indica que los permisos de generación tendrán una vigencia de hasta treinta años, los permisos de generación contendrán una serie de datos, como son: Nombre o denominación o razón social, Ubicación de las instalaciones, Programa de obra, Fechas de inicio y terminación de las obras respectivas (incluyendo la fecha de puesta en servicio y las etapas sucesivas), Vigencia del permiso, Descripción de las instalaciones, Derecho a recibir Certificados de Energías Limpias (sea el caso de que tecnología se está ocupando), Capacidad de generación y generación estimada anual de energía eléctrica, Actividades permisionadas y Obligaciones del titular del permiso, causas y plazos de terminación del mismo.
- **Artículos 21, 22 y 23:** Haciendo referencia al título primero de **las Disposiciones Generales**, del capítulo tres de **los Permisos y Autorizaciones**; los artículos establecen que las solicitudes de permiso y autorización de generación eléctrica se presentarán ante la CRE y como se va a realizar el procedimiento de evaluación de la solicitud presentada, asimismo se indica que datos deberá contener la solicitud. A continuación, se muestran los datos que se solicitan:
 - I. Nombre o denominación o razón social y domicilio fiscal del interesado.
 - II. Domicilio para recibir notificaciones.
 - III. Nombre del representante legal.
 - IV. Tipo de permiso o autorización que solicita (solicitud para permisos de Generación).
 - V. Ubicación de la Central Eléctrica.
 - VI. Capacidad y generación anual estimada de la Central Eléctrica.
 - VII. Tipo de tecnología y, en su caso, el combustible primario.

Con la solicitud de permiso o autorización se entregará la siguiente información (como mínimo):

- I. La personalidad y existencia legal.
 - II. La personalidad y facultades del representante legal.
 - III. El objeto social del interesado (en caso de ser persona moral).
 - IV. Información sobre la capacidad técnica y financiera de los interesados, en los términos que establezca la CRE.
 - V. El comprobante de pago de derechos o aprovechamientos.
 - VI. Tratándose de los permisos de generación, las fechas estimadas de inicio y terminación de las obras respectivas, incluyendo la fecha estimada de puesta en servicio considerando, en su caso, las etapas sucesivas, y el monto estimado del costo de las obras.
- **Artículos 83 y 84:** Haciendo referencia al título segundo de **la Industria Eléctrica**, del capítulo doce de **las Energías Limpias**; los artículos establecen que el objetivo de los CEL es contribuir a lograr las metas de la política en materia de participación en la generación de energía eléctrica con fuentes de Energías Limpias con el mínimo costo factible y con base en mecanismos de mercado y que estos serán emitidos en función de la unidad de energía eléctrica generada a partir de Energías Limpias.

- **Artículo 87:** Haciendo referencia al título tercero de **la Evaluación de Impacto Social y la Consulta**, del capítulo uno de **la Consulta y Evaluación de Impacto Social**; el artículo establece que los interesados en obtener permisos o autorizaciones para desarrollar proyectos en la industria eléctrica incluidos los relativos a la prestación del Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica deberán presentar a la SENER la evaluación de impacto social a que se refiere el artículo 120 de la LIE, la evaluación de impacto social contendrá la identificación de los pueblos y comunidades indígenas que se ubican en el área de influencia directa e indirecta del proyecto, también contendrá la identificación, caracterización, predicción, y valoración de los impactos sociales positivos y negativos que podrían derivarse del proyecto. Deberán incluir las medidas de prevención y mitigación, así como los planes de gestión social, propuestos por los interesados en desarrollar el proyecto de la industria eléctrica.

3. Ley de la Transición Energética.

- **Artículo 6:** Haciendo referencia al título segundo de **las Metas y Obligaciones**, del capítulo dos de **las Metas de Energías Limpias**; el artículo se establece que los integrantes de la Industria Eléctrica, así como los participantes del Mercado Eléctrico Mayorista, sean de carácter público o particular, estarán obligados a contribuir al cumplimiento de las Metas de Energías Limpias en los términos establecidos en la legislación aplicable.
- **Artículo 9:** Haciendo referencia al título segundo de **las Metas y Obligaciones**, del capítulo dos de **las Metas de Energías Limpias**; el artículo establece que el Estado Mexicano promoverá que existan las condiciones legales, regulatorias y fiscales para facilitar el cumplimiento de las Metas y sus disposiciones reglamentarias para todos los integrantes de la Industria Eléctrica.
- **Artículo 65:** Haciendo referencia al título cuarto del **financiamiento y la inversión para la transición energética**, del capítulo cuatro de **la Inversión**; el artículo establece que con el fin de incentivar la inversión para la generación de energía eléctrica con Energías Limpias y alcanzar el cumplimiento de las Metas del país en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética, la regulación deberá garantizar el acceso abierto y no indebidamente discriminatorio a las redes de transmisión y distribución, para las centrales eléctricas, además de ofrecer certeza jurídica a nuevas inversiones, así mismo promover, en condiciones de sustentabilidad económica, el uso de nuevas tecnologías de generación y en la operación de las redes de transmisión y distribución para permitir mayor penetración de las Energías Limpias y el manejo eficiente de la intermitencia de las mismas.
- **Artículos 66, 67 y 68:** Haciendo referencia al título cuarto del **financiamiento y la inversión para la transición energética**, de los capítulos cuatro y cinco de **la Inversión y de los Certificados de Energías Limpias**; los artículos establecen que la SENER, en coordinación con la CRE y el CENACE, recomendarán, en el ámbito de sus atribuciones, los mecanismos y los programas más convenientes para promover la inversión en la generación de electricidad con Energías Limpias para el cumplimiento de las Metas en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética, para los mecanismos o programas se podrá considerar la evaluación de los mecanismos legales y de incentivos, tales como el porteo tipo estampilla postal, el acceso garantizado a la red eléctrica y al despacho de energía, el banqueo de energía, el reconocimiento de la capacidad efectiva aportada al sistema y la contabilización de externalidades, también el CENACE llevará a cabo subastas en las cuales participarán, de manera obligatoria, los Suministradores de Servicios Básicos. En dichas subastas deberán considerar el cumplimiento de las obligaciones para adquirir Certificados de Energías Limpias, tomando en cuenta los precios ofertados, capacidades técnicas y financieras demostradas para la ejecución de los proyectos ganadores, entre los otros que se definen en las Reglas del Mercado a las que se refiere la Ley de la Industria Eléctrica.

- **Artículo 75:** Haciendo referencia al título quinto de **la Investigación Científica, la Innovación y el Desarrollo Tecnológico**, del capítulo uno de **la Investigación**; el artículo establece que la SENER y el Instituto, con la participación que corresponda al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, promoverán la investigación aplicada y el desarrollo de tecnologías para el cumplimiento de las Metas en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética a partir de ciertos criterios, como lo son: el fomento al desarrollo de nuevos conocimientos, materiales, técnicas, procesos, servicios y tecnologías en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética, y La viabilidad técnica, ambiental, financiera, administrativa, social en la ejecución de los proyectos de Energías Limpias para el cumplimiento efectivo de las Metas adquiridas.

4. Reglamento de la Ley de Transición Energética.

- **Artículo 16:** Haciendo referencia al título sexto del **Desarrollo Industrial**, del capítulo tres de **la Evaluación de los Instrumentos de Planeación**; el artículo establece que la Secretaría de Economía, en coordinación con la SENER, elaborará la Hoja de Ruta para promover el desarrollo de Cadenas de Valor de las Energías Limpias a base del estudio previsto como lo indica el artículo 86 de LTE. Logrando la participación esperada de los sectores público, privado y social vinculados con las Energías Limpias, incluyendo los pasos que deberán dar los actores específicos para alcanzar los objetivos a que se refiere la fracción anterior, como también se establecerá los recursos que se estiman necesarios para alcanzar los objetivos, así como las posibilidades de financiamiento, incluyendo su vinculación con los objetivos de los fondos para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

5. Ley General de Cambio Climático.

- **Artículos 6 y 7:** De acuerdo con el título segundo, que hace referencia a la **Distribución de Competencias**, del capítulo único de **la Federación, las Entidades Federativas y los Municipios**; los artículos establecen las atribuciones que se le otorga a la federación a través de las dependencias y entidades que integran la administración pública federal centralizada y paraestatal, de conformidad con las facultades que les confiere esta ley, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y demás disposiciones jurídicas aplicables. A continuación, se mencionan las atribuciones relativas a la Generación de Energía de acuerdo a esta ley:
 - I. Establecer, regular e instrumentar las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con esta Ley, los tratados internacionales aprobados y demás disposiciones jurídicas aplicables, en las materias siguientes: Preservación, restauración, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, los ecosistemas terrestres, acuáticos, marinos, costeros, islas, cayos, arrecifes y los recursos hídricos; **Energía**; Planeación nacional del desarrollo; entre otros.
 - II. Formular y adoptar metodologías y criterios, expedir las disposiciones jurídicas que se requieran para la elaboración, actualización y publicación del inventario y en su caso los inventarios estatales; así como requerir la información necesaria para su integración a los responsables de las siguientes categorías de fuentes emisoras: **Generación y uso de energía**; Transporte; Procesos Industriales, entre otros.

- III. Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación y adaptación al cambio climático en materia de hidrocarburos y **energía eléctrica**, para lograr el uso eficiente y sustentable de los recursos energéticos fósiles y renovables del país, de conformidad con la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, en lo que resulte aplicable.
- **Artículos 28 y 29:** De acuerdo con el título cuarto, que hace referencia a la **Política Nacional de Cambio Climático**, del capítulo dos de la **Adaptación**; el artículo establece que la federación deberá de elaborar una Política Nacional de Adaptación en el marco del Sistema Nacional de Cambio Climático, en los siguientes ámbitos: Gestión integral del riesgo; Recursos hídricos; Ecosistemas y biodiversidad, en especial de zonas costeras, marinas, de alta montaña, semiáridas, desérticas, recursos forestales y suelos; **Energía**, industria y servicios; Ordenamiento ecológico del territorio, desplazamiento interno de personas provocado por fenómenos relacionados con el cambio climático, asentamientos humanos y desarrollo urbano; entre otros ámbitos; mientras que las acciones para la adaptación al cambio climático por ejemplo son: El manejo, protección, conservación y restauración de los ecosistemas, recursos forestales y suelos; Los programas hídricos de cuencas hidrológicas; La construcción y mantenimiento de infraestructura; La elaboración y actualización de los atlas de riesgo tomando en consideración la información del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático; Los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad; La infraestructura estratégica en materia de abasto de agua, servicios de salud y producción y abasto de energéticos; entre otros.
 - **Artículo 31:** De acuerdo con el título cuarto, que hace referencia a la **Política Nacional De Cambio Climático**, del capítulo tres de la **Mitigación**; el artículo considera que la política deberá establecer planes, programas, acciones, instrumentos económicos, de política y regulatorios para el logro gradual de metas de reducción de emisiones específicas, por sectores y tomando como referencia los escenarios de línea base y líneas de base por sector que se establezcan en los instrumentos previstos por la presente Ley, considerando las contribuciones determinadas a nivel nacional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, el acceso a recursos financieros, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades, así como cualquier otro tratado internacional suscrito por el Estado mexicano en materia de cambio climático. La política debe cuidar que la línea base a comprometer por México no limite el crecimiento económico del país, y en la elaboración de dicha línea deben participar los sectores productivos, en coordinación con los organismos nacionales que intervengan en la política económica.
 - **Artículo 32:** De acuerdo con el título cuarto, que hace referencia a la **Política Nacional De Cambio Climático**, del capítulo tres de la **Mitigación**; el artículo establece que la política nacional de mitigación se instrumentará con base en un principio de gradualidad, promoviendo el fortalecimiento de capacidades nacionales para la mitigación de emisiones y la adaptación a los efectos adversos del cambio climático, priorizando en los sectores de mayor potencial de reducción hasta culminar en los que representan los costos más elevados, además de atender los compromisos internacionales de los Estados Unidos Mexicanos en la materia. Se debe determinar las metas de reducción de emisiones que deberá alcanzar el sector analizado, considerando su contribución en la generación de reducción del total de emisiones en el país, y el costo de la reducción o captura de emisiones, por mencionar al sector energético se debe realizar un análisis sobre el sector de generación de electricidad, incluyendo los costos de las externalidades sociales y ambientales, así como los costos de las emisiones en la selección de las fuentes para la generación de energía eléctrica.
 - **Artículo 33:** De acuerdo con el título cuarto, que hace referencia a la **Política Nacional De Cambio Climático**, del capítulo tres de la **Mitigación**; el artículo indica cuales son los objetivos de las políticas públicas para la mitigación son: Promover la protección del medio ambiente, el

desarrollo sustentable y el derecho a un medio ambiente sano a través de la mitigación de emisiones; Reducir las emisiones nacionales, a través de políticas y programas, que fomenten la transición a una economía sustentable, competitiva y de bajas emisiones en carbono, incluyendo instrumentos de mercado, incentivos y otras alternativas que mejoren la relación costo-eficiencia de las medidas específicas de mitigación, disminuyendo sus costos económicos y promoviendo la competitividad, la transferencia de tecnología y el fomento del desarrollo tecnológico; Promover de manera gradual la sustitución del uso y consumo de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía; Promover prácticas de eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía; Promover prácticas de eficiencia energética, el desarrollo y uso de fuentes renovables de energía y la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, particularmente en bienes muebles e inmuebles de dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, de las entidades federativas y de los municipios; entre otros.

- **Artículo 34:** De acuerdo con el título cuarto, que hace referencia a la **Política Nacional De Cambio Climático**, del capítulo tres de la **Mitigación**; el artículo indica que, para reducir las emisiones, las dependencias y entidades en el ámbito de su competencia, promoverán el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación asociadas a los sectores correspondientes, considerando las disposiciones siguientes:

Reducción de emisiones en la **generación y uso de energía**:

- I. Fomentar prácticas de eficiencia energética y promover el uso de fuentes renovables de energía; así como la transferencia de tecnología de bajas en emisiones de carbono, de conformidad con la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética.
- II. Desarrollar y aplicar incentivos a la inversión tanto pública como privada en la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables y tecnologías de cogeneración eficiente. Dichos incentivos se incluirán en la Estrategia Nacional, la Estrategia Nacional de Energía, la Prospectiva del Sector Eléctrico y en el Programa Sectorial de Energía.
- III. Incluir los costos de las externalidades sociales y ambientales, así como los costos de las emisiones en la selección de las fuentes para la generación de energía eléctrica.
- IV. Fomentar la utilización de energías renovables para la generación de electricidad, de conformidad con la legislación aplicable en la materia.
- V. Expedir disposiciones jurídicas y elaborar políticas para la construcción de edificaciones sustentables, incluyendo el uso de materiales ecológicos y la eficiencia y sustentabilidad energética.

6. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

- **Artículos 5 y 11:** Haciendo referencia al título primero de las **Disposiciones Generales**, del capítulo dos de la **Distribución de Competencias y Coordinación**; los artículos establecen cuales son las facultades de la Federación otorga que por medio de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**) para la formulación y conducción de la política ambiental nacional, las cuales son:
 - I. La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y

de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales.

- II. El fomento de la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente, así como el establecimiento de las disposiciones que deberán observarse para el aprovechamiento sustentable de los energéticos.
 - III. La regulación de la prevención de la contaminación ambiental originada por ruido, vibraciones, energía térmica, luz intrusa, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente; entre otras.
 - IV. El control de acciones para la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en la zona federal marítimo terrestre, así como en la zona federal de los cuerpos de agua considerados como nacionales.
- **Artículos 22 y 22 Bis:** Haciendo referencia al título primero de las **Disposiciones Generales**, del capítulo cuatro del **Instrumentos de la Política Ambiental**, en la sección tres **Instrumentos Económicos**; la ley considera instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos, como son: Estímulos fiscales, los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos, los fideicomisos, concesiones, autorizaciones, licencias, permisos, además del financiamiento de programas, proyectos, estudios, investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación para la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente. Por otro lado, las actividades que se consideran prioritarias para recibir estímulos fiscales es la investigación e incorporación de sistemas de ahorro de energía y de utilización de fuentes de energía menos contaminantes; el ahorro y aprovechamiento sustentable y la prevención de la contaminación del agua; la investigación científica y tecnológica, incorporación, innovación o utilización de equipos y tecnologías que tengan por objetivo evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y de energía; entre otros.
 - **Artículos 28 y 30:** Haciendo referencia al título primero de las **Disposiciones Generales**, del capítulo cuatro del **Instrumentos de la Política Ambiental**, en la sección cinco **Evaluación del Impacto Ambiental**; la **SEMARNAT** notificará a los interesados su determinación para que sometan al procedimiento de evaluación de impacto ambiental la obra o actividad que corresponda, explicando las razones que lo justifiquen, con el propósito de que aquéllos presenten los informes, dictámenes y consideraciones que juzguen convenientes, en un plazo no mayor a diez días. Una vez recibida la documentación de los interesados, la **SEMARNAT**, en un plazo no mayor a treinta días, les comunicará si procede o no la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como la modalidad y el plazo para hacerlo. Transcurrido el plazo señalado, sin que la Secretaría emita la comunicación correspondiente, se entenderá que no es necesaria la presentación de una manifestación de impacto ambiental.

El manifestó de impacto ambiental, deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente. Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente la Ley, la manifestó deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente.

7. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

- Haciendo referencia al **Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental** en los **artículos 9, 11 y 13** ubicados en el capítulo tres del **Procedimiento para la Evaluación Del Impacto Ambiental**; los artículos informan que es obligación de la **SEMARNAT** proporcionar a los promoventes guías para facilitar la presentación y entrega de la manifestación de impacto ambiental (**MIA**) de acuerdo al tipo de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo (los cuales se publicará dichas guías en el **Diario Oficial de la Federación (DOF)** y en la Gaceta Ecológica). Las **MIA** se presentarán en la modalidad regional cuando se trate de: Proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas.

La manifestación de impacto ambiental, en su modalidad regional, deberá contener la siguiente información:

- I. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.
 - II. Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.
 - III. Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables.
 - IV. Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.
 - V. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
 - VI. Estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
 - VII. Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.
 - VIII. Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la manifestación de impacto ambiental.
- Haciendo referencia al **Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera** en los **artículos 18 y 19** ubicados en el capítulo dos de la **Emisión de Contaminantes a la Atmósfera, Generada por Fuentes Fijas**; los artículos establecen que las fuentes fijas que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, requerirán licencia de funcionamiento expedida por la **SEMARNAT**, la cual tendrá una vigencia indefinida. Para obtener la licencia de funcionamiento los responsables de las fuentes, deberán presentar a la Secretaría, solicitud por escrito acompañada de la siguiente información y documentación:
 - I. Datos generales del solicitante.
 - II. Ubicación.
 - III. Descripción del proceso.
 - IV. Distribución de maquinaria y equipo.
 - V. Materias primas o combustibles que se utilicen en su proceso y forma de almacenamiento.
 - VI. Transporte de materias primas o combustibles al área de proceso.
 - VII. - Transformación de materias primas o combustibles.
 - VIII. Productos, subproductos y desechos que vayan a generarse.

- IX. Almacenamiento, transporte y distribución de productos y subproductos.
 - X. Cantidad y naturaleza de los contaminantes a la atmósfera esperados.
 - XI. Equipos para el control de la contaminación a la atmósfera que vayan a utilizarse.
 - XII. Programa de contingencias, que contenga las medidas y acciones que se llevarán a cabo cuando las condiciones meteorológicas de la región sean desfavorables; o cuando se presenten emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas extraordinarias no controladas
- Haciendo referencia al **Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera** en el artículo 17 ubicado en el capítulo dos de la **Emisión de Contaminantes a la Atmósfera, Generada por Fuentes Fijas**; el artículo establece que los responsables de las fuentes fijas por las que se emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera estarán obligados a:
 - I. Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera, para que éstas no rebasen los niveles máximos permisibles establecidos en las normas técnicas ecológicas correspondientes.
 - II. Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, en el formato que determine la **SEMARNAT**.
 - III. Instalar plataformas y puertos de muestreo.
 - IV. Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera, registrar los resultados en el formato que determine la **SEMARNAT** y remitir a ésta los registros, cuando así lo solicite.
 - V. Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas o suburbanas, cuando colinde con áreas naturales protegidas, y cuando por sus características de operación o por sus materias primas, productos y subproductos, puedan causar grave deterioro a los ecosistemas, a juicio de la **SEMARNAT**.
 - VI. Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control.
 - VII. Dar aviso anticipado a la **SEMARNAT** del inicio de operación de sus procesos, en el caso de paros programados, y de inmediato en el caso de que éstos sean circunstanciales, si ellos pueden provocar contaminación.
 - VIII. Dar aviso inmediato a la **SEMARNAT** en el caso de falla del equipo de control, para que ésta determine lo conducente, si la falla puede provocar contaminación.

8. Ley de Aguas Nacionales.

- **Artículos 6 y 7:** Haciendo referencia al título segundo de la **Administración del Agua**, del capítulo dos del **Ejecutivo Federal**; los artículos establecen que CONAGUA deberá adoptar las medidas necesarias para el cumplimiento de acuerdos y convenios internacionales en materia de aguas, tomando en cuenta el interés nacional, regional y público. Además declara que es de utilidad pública la protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional, así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer mantos acuíferos; al mismo tiempo es de utilidad pública el aprovechamiento de aguas nacionales para **generar energía**

eléctrica destinada a servicios públicos.

- **Artículos 20 y 21:** Haciendo referencia al título cuarto de los **Derechos de Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales**, del capítulo dos de las **Concesiones y Asignaciones**; los artículos establecen que se deberá realizar una solicitud para la concesión o asignación deberá contener al menos:
 - I. Nombre y domicilio del solicitante, aparte de la copia del acta constitutiva cuando se trate de persona moral.
 - II. La cuenca hidrológica, acuífero en su caso, región hidrológica, municipio y localidad a que hace referencia la solicitud.
 - III. El punto de extracción de las aguas nacionales que se soliciten.
 - IV. El volumen de extracción y consumo requeridos, además del croquis de localización del aprovechamiento, incluidos los puntos de descarga con las condiciones de cantidad y calidad y, en su caso, los planos de los terrenos que van a ocuparse con las distintas obras e instalaciones.
 - V. El uso inicial que se le dará al agua, cuando dicho volumen se pretenda destinar a diferentes usos, se efectuará el desglose correspondiente para cada uno de ellos, más aparte una memoria técnica con los planos correspondientes que contengan la descripción y características de las obras realizadas o por realizar para efectuar el aprovechamiento, así como las necesarias para la disposición y tratamiento de las aguas residuales y las demás medidas para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores
 - VI. El proyecto de las obras a realizar o las características de las obras existentes para su extracción y aprovechamiento, así como las respectivas para su descarga, incluyendo tratamiento de las aguas residuales y los procesos y medidas para el reúso del agua, en su caso, y restauración del recurso hídrico; en adición deberá presentarse el costo económico y ambiental de las obras proyectadas, esto último conforme a lo dispuesto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
 - VII. La duración de la concesión o asignación que se solicita.

9. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

- **Artículo 23:** haciendo referencia al título tercero de la **Programación Hidráulica**, del capítulo único; el artículo indica cuales documentos se considerarán para la programación hidráulica y que esta cumpla con los objetivos nacionales, los cuales son:
 - I. Los inventarios de las aguas nacionales y de sus bienes inherentes, de los usos del agua y los de la infraestructura hidráulica para su aprovechamiento y control.
 - II. Los estudios de cuenca y los balances hidráulicos que se realicen para la determinación de la disponibilidad de aguas nacionales.
 - III. Las prioridades y las posibles limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva.
 - IV. Los programas, estudios y proyectos sobre las medidas necesarias para la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos, incluyendo los humedales y las interacciones para la conservación y manejo de las cuencas alimentadoras de las aguas nacionales; entre otros.

Referencias

1. Acciona. (s.f.). *PLANTA FOTOVOLTAICA FLOTANTE SIERRA BRAVA*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/resultados/?search=paneles%20fotovoltaicos%20flotantes&_adin=02021864894#
2. AFD. (2023). *Informe 1 “Análisis de la Implementación de Sistemas FPV en Embalses de las CH de la CFE” Etapa 1: Análisis de sitios, tecnologías, mercado y marco regulatorio*.
3. AFD. (2023). *Informe 2 “Análisis de la Implementación de Sistemas FPV en Embalses de las CH de la CFE” Etapa 2: Prefactibilidad*.
4. CENACE. (6 de diciembre de 2016). *Glosario de términos de las ofertas de venta*. Obtenido de https://www.cenace.gob.mx/DocsMEM/OpeMdo/OferComVen/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos%20de%20las%20Ofertas_Integrado.pdf
5. CENACE. (20 de Noviembre de 2018). *¿Sabes qué es el Mercado Eléctrico Mayorista?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cenace/articulos/sabes-que-es-el-mercado-electrico-mayorista?idiom=es>
6. CENACE. (2022). *Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista*. Obtenido de https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx
7. CFE. (2007). *Procedimiento de protección ambiental para la operación y mantenimiento de centrales hidroeléctricas*. Ciudad de México.
8. CFE. (2008). *Manifiesto de Impacto Ambiental P.H. La Yesca*. CDMX: CFE.
9. CFE. (2020). *Costos y Parámetros de Referencia de Generación (COPAR)*. CDMX: CFE.
10. CFE. (2021). *Prontuarios de Centrales Hidroeléctricas*. CDMX: CFE.
11. CFE. (2021). *Proyecto Central Fotovoltaica Puerto Peñasco Fase I (420 MW)*. CDMX: CFE.
12. CFE. (2022). *Informe Anual 2021*. CDMX: CFE.
13. CFE. (3 de Agosto de 2023). *Boletín de Prensa: Banco Mundial Impulsan Proyectos de Energías Renovables en México*. Obtenido de https://twitter.com/CFEmx/status/1687133573823016960?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwtterm%5E1687133573823016960%7Ctwtgr%5E8285edd064ad9a9a3f5c13568aade2494bc9ed70%7Ctwcon%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Fenergiahoy.com%2F2023%2F08%2F03%2Fconsigue-
14. CFE. (17 de Febrero de 2023). *INAUGURACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA PUERTO PEÑASCO*. Obtenido de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/bolletin?i=3787>
15. CRE. (8 de Abril de 2016). *Código de Red*. Obtenido de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/\(DOF%202016-04-08%20CRE\)%20RES-151-2016%20DACG%20C%C3%B3digo%20de%20Red.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/(DOF%202016-04-08%20CRE)%20RES-151-2016%20DACG%20C%C3%B3digo%20de%20Red.pdf)
16. CRE. (30 de Marzo de 2022). *Disposiciones Administrativas de Carácter General*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5647325&fecha=30/03/2022#gsc.tab=0
17. DNV-GL. (2021). *Práctica Recomendada: Diseño, desarrollo y operación de sistemas solares fotovoltaicos flotantes*.
18. Iberdrola. (29 de Enero de 2023). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA FLOTANTE: ¿Conoces la energía solar fotovoltaica flotante?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>
19. Iberdrola. (29 de Enero de 2023). *Paneles bifaciales: ¿Qué los hace diferentes?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/paneles-solares-bifaciales>

20. IHA. (2023). *World Hydropower Outlook 2023 - Opportunities to advance net zero*. Obtenido de [https://www.hydropower.org/publications/2023-world-hydropower-outlook#:~:text=The%20inaugural%202023%20Outlook%20sets,deliver%20against%20net%20zero%20target&text=Inside%20you%20will%20find%20key,of%20pumped%20storage%20\(PSH\).](https://www.hydropower.org/publications/2023-world-hydropower-outlook#:~:text=The%20inaugural%202023%20Outlook%20sets,deliver%20against%20net%20zero%20target&text=Inside%20you%20will%20find%20key,of%20pumped%20storage%20(PSH).)
21. Luis, D. M. (2006). *Manifestación de Impacto Ambiental Sector Eléctrico "Ampliación de la Planta Hidroeléctrica las Trucas"*. Durango.
22. México, G. d. (Enero de 1934). *Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/27.pdf>
23. México, G. d. (Junio de 2013). *Artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/25.pdf>
24. México, G. d. (6 de Marzo de 2020). *Artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/28.pdf>
25. ONU. (2022). *Contribución Determinada al Cambio Climático a nivel Nacional (Actualización 2022)*. Obtenido de <https://unfccc.int/NDCREG>
26. ONU. (20 de Noviembre de 2022). *La COP27 llega a un acuerdo decisivo sobre un nuevo fondo de "pérdidas y daños" para los países vulnerables*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/news/la-cop27-llega-a-un-acuerdo-decisivo-sobre-un-nuevo-fondo-de-perdidas-y-danos-para-los-paises>
27. ONU. (2022). *Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
28. ONU. (2023). *Historia de la Convención*. Obtenido de <https://unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention#Essential-background>
29. Power, E. G. (27 de octubre de 2020). *El fotovoltaico que flota en el agua*. Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2020/10/plataforma-fotovoltaico-flotante-catania>
30. Presupuestaria, C. C. (2 de junio de 2017). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento*. Obtenido de [https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20International%20Renewable%20Energy,de%20medici%C3%B3n%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar\).](https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20International%20Renewable%20Energy,de%20medici%C3%B3n%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar).)
31. Ruiz, A. (3 de Marzo de 2023). *La Planta Fotovoltaica Flotante más grandes de Asia*. Obtenido de [https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-mas-grande/#:~:text=Est%C3%A1%20ubicada%20pr%C3%B3xima%20a%20la,de%2012%20C93%20ha\).](https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-mas-grande/#:~:text=Est%C3%A1%20ubicada%20pr%C3%B3xima%20a%20la,de%2012%20C93%20ha).)
32. SE. (2017). *LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf
33. SEMARNAT. (17 de agosto de 2021). *Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental*. Obtenido de <https://www.semarnat.gob.mx/gobmx/biblioteca/nom.html>
34. SENER. (22 de Diciembre de 1993). *LEY DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Obtenido de https://docs.mexico.justia.com/federales/ley_del_servicio_publico_de_energia_electrica.pdf
35. SENER. (2001). *Evolución y Perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000*. Obtenido de <https://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0512001.pdf>
36. SENER. (28 de Noviembre de 2008). *LEY PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA*. Obtenido de https://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/marco_LASE.pdf
37. SENER. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf

38. SENER. (11 de Agosto de 2014). *LEY DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31722/LIElec_110814.pdf
39. SENER. (31 de Octubre de 2014). *REGLAMENTO de la Ley de la Industria Eléctrica*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
40. SENER. (24 de 12 de 2015). *LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
41. SENER. (17 de Junio de 2016). *Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n463.pdf>
42. SENER. (15 de Julio de 2016). *Manual de Registro y Acreditación de Participantes del Mercado*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n466.pdf>
43. SENER. (2016). *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf
44. SENER. (16 de Octubre de 2017). *Manual de Costos de Oportunidad*. Obtenido de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/14_REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Costos%20de%20Oportunidad%20\[DOF%2016-10-17\].pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/14_REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Costos%20de%20Oportunidad%20[DOF%2016-10-17].pdf)
45. SENER. (23 de noviembre de 2017). *Manual de Pronósticos*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n533.pdf>
46. SENER. (4 de Diciembre de 2017). *Manual de Requerimientos de Tecnologías de la Información y Comunicaciones*. Obtenido de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/14_REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Req%20de%20TI%20y%20Comunicaciones%20para%20el%20SEN%20y%20el%20MEM%20\[DOF%2004-12-17\].pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/14_REGLAS/Manuales/Manual%20de%20Req%20de%20TI%20y%20Comunicaciones%20para%20el%20SEN%20y%20el%20MEM%20[DOF%2004-12-17].pdf)
47. SENER. (4 de Junio de 2017). *REGLAMENTO de la Ley de Transición Energética*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
48. SENER. (10 de Enero de 2018). *Manual de Medición para Liquidaciones*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n555.pdf>
49. SENER. (2018). *Prospectiva de Energías Renovables 2018-2032*. Obtenido de https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER_18_32_F.pdf
50. SENER. (30 de Junio de 2021). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2021-2035*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-276178>
51. SIE. (2022). *Sistema de Información Energética Sistema Eléctrico Nacional Generación Bruta de CFE mas PIE's por tecnología*. Obtenido de <https://sie.energia.gob.mx/movil.do?action=applyOptions>
52. Solargis. (marzo de 2023). *Mapas de irradiación solar alrededor del mundo*. Obtenido de <https://apps.solargis.com/prospect/map?show-registration=1&c=27.827176,-100.705602,5&s=10.418667,-104.088866>
53. Terre, C. &. (Mayo de 2023). *The Floating Solar Company*. Obtenido de <https://ciel-et-terre.net/>
54. Unión, C. d. (agosto de 2014). *Reglamento De La Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
55. Unión, C. d. (octubre de 2014). *Reglamento De La Ley General De Cambio Climático En Materia Del Registro Nacional De Emisiones*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
56. Unión, C. d. (Octubre de 2014). *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
57. Unión, C. d. (mayo de 2023). *Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>

58. Unión, C. d. (Mayo de 2023). *Ley General de Cambio Climático*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
59. Unión, C. d. (mayo de 2023). *Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
60. WB. (1 de Octubre de 2018). *Where Sun Meets Water*. Obtenido de [https://documents.worldbank.org/en/publication/doc-
uments-reports/documentdetail/579941540407455831/floatin
g-solar-market-report-executive-summary](https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floatin-g-solar-market-report-executive-summary)
61. WB. (1 de Enero de 2019). *where Sun Meets Water*, Vol. 2. Obtenido de [https://documents.worldbank.org/en/publication/doc-
uments-reports/documentlist?repnb=131291](https://documents.worldbank.org/en/publication/doc-
uments-reports/documentlist?repnb=131291)