# PROTOCOLO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE RIESGOS EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

## TABLA DE CONTENIDO

**Presentación (Alcance del documento, aportes al Programa Colombia Solar)**

**1. Capítulo 1. Los sistemas fotovoltaicos**

*1.1. Componentes y funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos*

*1.2. Materias primas para la fabricación de los sistemas fotovoltaicos*

*1.3. Clasificación de materiales según nivel de peligrosidad*

*1.4. Subsistemas constitutivos del Sistema Fotovoltaico*

*1.5. Implicaciones para el transporte*

*1.6. Marco Normativo general aplicable al transporte*

*1.7. Síntesis del capitulo*

**2. Capítulo 2. Análisis de rutas y tipologías de transporte de materiales.**

*2.1. Geografía de los sitios de instalación*

*2.2. Sensibilidad ambiental*

*2.3. Infraestructura vial*

*2.4. Trayectos*

*2.5. Tipologías de rutas de transporte*

**3. Capítulo 3. Riesgos asociados al transporte de los materiales que componen los sistemas fotovoltaicos.**

*3.1. Durante la importación y nacionalización*

*3.2. Durante el almacenamiento y planificación logística*

*3.3. Durante el transporte primario (distribución nacional)*

*3.4. Durante el transporte Secundario (acceso local)*

*3.5. Durante el desmantelamiento y disposición final*

*3.6. Durante los almacenamientos temporales*

**4. Capítulo 4. Normativa asociada al transporte de los materiales que componen los sistemas fotovoltaicos. CAPITULO 2**

*4.1. Normativa Internacional asociada al transporte de sistemas fotovoltaicos*

*4.2. Normativa Nacional asociada al transporte de sistemas fotovoltaicos*

*4.3. Los retos normativos del transporte de sistemas fotovoltaicos en Colombia*

**5. Capítulo 5. Medidas para la prevención y atención de riesgos asociados al transporte de los materiales que componen los sistemas fotovoltaicos.**

*5.1. Medidas de prevención*

*5.2. Embalajes*

*5.3. Manipulación*

*5.4. Gestión operativa del transporte*

*5.5. Cierre de ciclo y gestión final de residuos*

*5.6. Plan de atención de emergencias*

*5.7. Trazabilidad y monitoreo*

*5.8. Responsabilidad de los actores*

**6. Bibliografía**

## Alcance del Documento

Este protocolo define los lineamientos técnicos para el transporte terrestre y fluvial de paneles fotovoltaicos en Colombia, cubriendo la ruta logística desde la llegada a puerto (Cartagena, Buenaventura o Santa Marta) hasta los puntos finales de instalación. El documento se centra en la mitigación de riesgos derivados de la geografía nacional, la precariedad de la infraestructura vial en zonas rurales y las tipologías de vehículos requeridas para garantizar que los equipos lleguen sin micro fisuras o daños estructurales.

## Aportes al Programa Colombia Solar

Al enfocarse en el trayecto puerto-instalación, este protocolo asegura que la inversión tecnológica del Programa Colombia Solar no se vea comprometida por una logística inadecuada. Proporciona una hoja de ruta para que los contratistas y transportistas operen bajo estándares que protejan la eficiencia energética de los paneles, optimizando los tiempos de entrega en las regiones más apartadas del país.

# Capítulo 1. Los Sistemas Fotovoltaicos

### 1.1 Componentes y funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico (SFV) es un conjunto de dispositivos diseñados para convertir la radiación solar directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Según Messenger y Abtahi (2017), los componentes principales se dividen en:

- **Módulos Fotovoltaicos:** Celdas de silicio interconectadas que generan corriente continua (DC).
- **Inversores de Corriente:** Dispositivos electrónicos que transforman la DC en corriente alterna (AC) apta para el consumo.
- **Estructuras de Soporte:** Armazones metálicos (aluminio o acero galvanizado) que aseguran la inclinación y orientación de los paneles.
- **Sistemas de Almacenamiento (Baterías):** Acumuladores químicos (plomo-ácido o litio) necesarios en sistemas aislados.

### 1.2 Materias primas para la fabricación de los sistemas fotovoltaicos

La fabricación de SFV depende de una cadena de suministro global de minerales y materiales sintéticos. Los principales son:

- **Silicio Monocristalino y Policristalino:** Elemento base para las celdas semiconductoras.
- **Vidrio Templado:** Proporciona protección mecánica y resistencia a la intemperie.
- **Metales Conductores:** Plata para los contactos frontales y cobre para el cableado interno.
- **Polímeros (EVA y Tedlar):** Materiales de encapsulamiento que protegen las celdas de la humedad (Tyagi et al., 2013).

- **Litio, Cobalto y Níquel:** Materias primas críticas para la fabricación de baterías de alta densidad energética.

### 1.3 Clasificación de materiales según nivel de peligrosidad

Para efectos de transporte en Colombia, los materiales se clasifican bajo el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) y el Decreto 1079 de 2015:

| Material | Nivel de Peligrosidad | Clasificación ONU |
|---|---|---|
| **Paneles Solares** | Bajo | Mercancía no peligrosa (pero frágil) |
| **Baterías de Litio** | Alto | Clase 9 (Misceláneos - Riesgo de incendio) |
| **Baterías Plomo-Ácido** | Medio-Alto | Clase 8 (Corrosivos) |
| **Estructuras de Aluminio** | Nulo | Carga general |

**Nota:** *Aunque los paneles en uso son seguros, su rotura durante el transporte puede liberar trazas de metales pesados como el Teluro de Cadmio (CdTe) en tecnologías de capa delgada, lo cual representa un riesgo ecotoxicológico (Sengul & Theis, 2011).*

### 1.4 Implicaciones para el transporte

El transporte de sistemas fotovoltaicos en la geografía colombiana presenta retos específicos:

1. **Vibraciones y Microfisuras:** El transporte por vías terciarias puede causar micro-cracks o micro fisuras en las celdas de silicio, reduciendo la eficiencia del panel hasta en un 15% antes de su instalación.
2. **Gestión de Mercancías Peligrosas:** Las baterías requieren vehículos con señalización específica, kits de derrames y conductores certificados en el manejo de sustancias peligrosas.
3. **Condiciones Climáticas:** La alta humedad y salinidad en zonas costeras colombianas exigen embalajes con atmósfera controlada para evitar la corrosión prematura de los contactos eléctricos durante el tránsito.
4. **Geografía e Infraestructura:** El cruce de cordilleras y el tránsito por vías de tercer orden (sin pavimentar) exigen sistemas de suspensión reforzados en los vehículos para absorber impactos que causan fatiga en el silicio.

5. **Tipologías de Vías:** Se debe diferenciar entre el transporte en tractocamiones por corredores principales y el transbordo a vehículos de menor calado (camiones turbo o camionetas 4x4) o embarcaciones fluviales para llegar a zonas de difícil acceso.
6. **Manipulación (Cargue y Descargue):** Los paneles deben transportarse siempre en posición vertical (de canto) y nunca de forma horizontal, para evitar el efecto de "pandeo" que rompe las celdas internas. El uso de montacargas en puerto y la manipulación manual en el sitio de instalación deben seguir protocolos de "cero presiones" sobre la cara de vidrio.