Informe de Validación — Entregables Colombia Solar

Programa Colombia Solar · Barranquilla · Año 2025

Fecha de auditoría: 2026-02-24
Última actualización: 2026-04-13
Auditor: Melissa Cardona - Despacho del Viceministro
Versión: Final con 4 Entregables — Rev. 4 (eliminación filtro tipo subestación — solicitud campo abr 2026)

Resumen Ejecutivo

> El análisis confirma que los **cuatro entregables** cumplen integralmente con la metodología acordada en las reuniones técnicas del MME. A partir de una base inicial de **386,008 usuarios** (intersección de las bases de facturación de AFINIA), se aplicaron **ocho filtros simultáneos** de elegibilidad, obteniendo una población priorizada de **49,145 usuarios** distribuidos en **87 sectores** según la codificación territorial de AFINIA.
>
> **Actualización (10 mar 2026):** A solicitud del equipo técnico del MME, el Entregable 1 fue actualizado para incluir la columna **Barrio** (barrio oficial POT) asociado a cada uno de los 386,008 usuarios, mediante unión espacial con los polígonos del POT de Barranquilla. Se asignó barrio a **348,624 usuarios** (90.3%). Los 37,383 restantes se ubican fuera de los polígonos POT urbanos (zonas rurales o periféricas) y quedan marcados como "Sin asignar".
>
> **Actualización (13 abr 2026):** A solicitud del equipo de caracterización de campo, se eliminó el filtro por **tipo de subestación** (que excluía los transformadores tipo Pedestal e interiores de edificación). El trabajo de campo identificó clústeres residenciales viables atendidos por estos tipos de subestación que cumplen todos los demás criterios del programa Colombia Solar. Este ajuste incorpora **1,195 usuarios adicionales** (731 en transformadores Pedestal + 464 en interiores de edificación), llevando la población elegible de 47,950 a **49,145 usuarios**.

Resultado General de la Auditoría

Indicador	Valor
Verificaciones correctas	**56**
Advertencias de calidad de datos	2
Errores críticos	**0**
Estado Final	**✓ CUMPLE**

---

1. Población Objetivo y Reducción por Filtros

1.1 Flujo de Reducción Poblacional

La siguiente tabla muestra la trazabilidad completa desde las bases originales del operador de red hasta la población final elegible:

Etapa	Población	% del Total
Base original (intersección facturación)	386,008	100.0%
Entregable 1 (post-merge con transformadores)	386,008	100.0%
Excluidos por 8 filtros (neto, con solapamientos)	-336,863	-87.3%
Entregable 2 (población elegible con IF)	49,145	**12.7%**
Entregable 3 (formato completo + IF)	49,145	12.7%
Entregable 4 (clustering por sectores AFINIA)	49,145	12.7%

1.2 Impacto Cuantitativo de Cada Filtro

#	Criterio de Exclusión	Usuarios Afectados	% de Base
1	Autogenerador (AGPE/AGGE)	651	0.2%
2	Sin medidor instalado (código 6)	26,794	6.9%
3	Estrato diferente a 1, 2 o 3	110,025	28.5%
4	Sin código de transformador	2,363	0.6%
~~5~~	~~Subestación diferente a Tipo Poste~~	~~99,285~~	~~25.7%~~
5	Dirección con "AP" (apartamentos)	184,507	47.8%
6	Consumo < 40 kWh/mes	21,066	5.5%
7	Consumo > 240 kWh/mes	179,168	46.4%
8	Cartera > $100,000	152,320	39.5%

> **Nota metodológica:** Los filtros operan simultáneamente. Un usuario puede ser excluido por múltiples criterios, por lo que la suma de exclusiones individuales supera el total excluido neto. El filtro de subestación (tacha) fue **eliminado el 13/04/2026** a solicitud del equipo de campo (ver Correo 7).

---

2. Caracterización Socioeconómica de la Población Elegible

2.1 Distribución por Estrato Socioeconómico

Estrato	Usuarios	Participación	Acumulado
1 (Bajo-bajo)	17,652	35.9%	35.9%
2 (Bajo)	18,894	38.4%	74.3%
3 (Medio-bajo)	12,599	25.6%	100.0%
Total	**49,145**	**100%**	—

Interpretación económica: La población objetivo concentra el **74.3%** de usuarios en los estratos 1 y 2, alineado con el objetivo de focalizar recursos en hogares de mayor vulnerabilidad energética.

2.2 Perfil de Consumo Energético

Estadístico	Consumo (kWh/mes)
Mínimo	40.0
Percentil 5	57.0
Percentil 25 (Q1)	100.0
Mediana (Q2)	**139.0**
Percentil 75 (Q3)	182.0
Percentil 95	226.0
Máximo	240.0
Promedio	**140.5**
Desviación estándar	~51.8

Interpretación económica: El consumo mediano de 138 kWh/mes corresponde al perfil típico de un hogar de estrato bajo con electrodomésticos básicos (refrigerador, iluminación, televisor). El rango acotado (40-240 kWh) excluye tanto usuarios inactivos como hogares con consumos atípicamente altos.

2.3 Situación de Cartera

Estadístico	Valor Cartera ($)
Usuarios sin deuda	88.4%
Mediana	**$0**
Percentil 75	$0
Percentil 95	$73,225
Máximo	$99,964
Promedio	**$7,502**

Interpretación económica: El 88.4% de los usuarios elegibles no presenta cartera vencida, indicando que la población objetivo tiene un historial de pago razonable. El filtro de cartera ≤$100,000 excluye casos de morosidad estructural que podrían comprometer la sostenibilidad del programa.

---

3. Índice de Focalización (IF) — Metodología y Validación

3.1 Fórmula del Índice de Focalización

El puntaje de focalización combina cuatro dimensiones, cada una normalizada entre 0 y 1:

$$IF = (EST \times 0.30) + (THC \times 0.05) + (CPROM \times 0.50) + (VCC \times 0.15)$$

Donde:

- **EST (30%)**: Estrato socioeconómico (1→1.0, 2→0.5, 3→0.0)
- **THC (5%)**: Total horas compensadas por interrupciones
- **CPROM (50%)**: Consumo promedio normalizado (inversamente proporcional)
- **VCC (15%)**: Valor cartera consumo normalizado (inversamente proporcional)

3.2 Validación Matemática del Cálculo

Verificación	Resultado
IF mínimo calculado	0.0557
IF máximo calculado	1.0000
¿Todos los IF en rango [0,1]?	✓ Sí
¿Ordenamiento descendente correcto?	✓ Sí
Diferencia máxima al recalcular	$1.11e^{-16}$
Precisión numérica	**100%**

3.3 Comportamiento del IF por Estrato

Estrato	IF Promedio	Desv. Estándar	IF Mín	IF Máx
1	**0.7535**	0.1247	0.3519	1.0000
2	0.5909	0.1257	0.2256	0.8500
3	0.4130	0.1268	0.0557	0.7000

Interpretación: El gradiente descendente del IF confirma que la metodología focaliza correctamente a los hogares de menor estrato, asignándoles mayor probabilidad de inclusión en la muestra.

---

4. Entregable 4 — Análisis Territorial por Barrios

4.1 Cobertura Geográfica

Indicador	Valor
Total sectores AFINIA identificados	**87**
Usuarios con sector asignado	49,145 (100%)
Tasa de georreferenciación	100%

4.2 Ranking de Barrios por Suma IF (∑IF)

Metodología de ordenamiento: Los sectores se ordenan por **Score de Focalización** (combinación de volumen e IP promedio). Este criterio combina:

- **Volumen**: cantidad de usuarios elegibles en el sector
- **Intensidad**: IP promedio del sector (qué tan prioritarios son sus usuarios)

> **Nota (abr 2026):** La segmentación territorial migró de barrios POT (155 unidades) a **sectores de codificación AFINIA** (87 unidades), que corresponden a las zonas operativas del operador de red. Esto permite una gestión más directa con las cuadrillas de instalación.

Rank	Sector AFINIA	Usuarios	IP Prom	IP P75	% Est 1	% Est 2	% Est 3	Score
1	BA	16,164	0.5925	0.7275	29.1%	43.2%	27.7%	0.5925
2	BK	2,528	0.5459	0.6653	10.4%	54.6%	35.0%	0.0854
3	BM	2,313	0.5901	0.6875	3.5%	91.7%	4.8%	0.0844
4	CP	1,672	0.6884	0.7800	50.1%	49.9%	0.0%	0.0712
5	BU	1,372	0.7647	0.8625	98.9%	1.0%	0.1%	0.0649
6	SIN_BARRIO	1,834	0.5541	0.6900	22.7%	43.2%	34.0%	0.0629
7	BE	1,451	0.6505	0.7475	34.4%	65.6%	0.0%	0.0584
8	BY	1,496	0.6201	0.7750	64.6%	3.7%	31.7%	0.0574
9	BG	1,066	0.7587	0.8525	95.4%	4.6%	0.0%	0.0500
10	BC	1,029	0.7476	0.8525	97.8%	2.2%	0.0%	0.0476

Interpretación: El sector BA concentra el mayor volumen de usuarios elegibles (16,164), representando el 32.9% del total. Los sectores BU, BG y BC tienen los IP promedio más altos (>0.74), indicando mayor vulnerabilidad media aunque con menor volumen.

4.3 Estructura del Entregable 4

El Entregable 4 consta de dos archivos separados:

1. **Entregable_4_Barrios_Resumen**: 87 sectores AFINIA ordenados por **Score de Focalización** (descendente), con métricas agregadas: total usuarios, IP promedio, IP percentil 75, IP máximo, distribución por estrato.

2. **Entregable_4_Detalle_Usuarios_por_Barrio**: 49,145 registros con todas las variables del Entregable 3 más:

    - Código de sector AFINIA (`Barrio`)
    - Rank del usuario dentro de su sector (`Rank_IP_en_barrio`)

4.4 Score de Focalización por Sector (Indicador de Ordenamiento)

El Entregable 4 utiliza la columna **"score_barrio"** como criterio de ordenamiento de sectores.

Fórmula de cálculo:

$$\text{Score} = \frac{n_b \times \bar{IP}*b}{\sum{i=1}^{87}(n_i \times \bar{IP}_i)}$$

Donde:

- n_b = Número de usuarios elegibles en el sector
- $\bar{IP}_b$ = Índice de Focalización promedio del sector
- El denominador es la suma sobre los 87 sectores AFINIA

Interpretación: El score representa la **contribución relativa** de cada barrio al total de focalización, combinando dos factores:

1. **Volumen** (cantidad de usuarios elegibles)
2. **Intensidad** (qué tan prioritarios son esos usuarios según su IF)

Uso sugerido: Este indicador puede utilizarse para estimar la demanda potencial de recursos por barrio. Un barrio con alto score concentra mayor "necesidad ponderada" y podría requerir una intervención más intensa en términos logísticos o presupuestales.

Estadístico	Valor
Score mínimo	0.0003
Score máximo	0.5925
Score promedio	0.0115
Suma total	1.0000 (100%)

> **Nota:** El ordenamiento de sectores se basa en el **Score** (volumen × IP promedio normalizado), priorizando donde la carga total de vulnerabilidad es mayor.

---

5. Verificación de Cumplimiento por Correo

Correo 1 (12 feb 2026) — Solicitudes Iniciales

Solicitud	Estado
Cruzar bases facturación (mes 12 + 12 meses)	✓ CUMPLE
Incorporar datos de transformadores	✓ CUMPLE
Generar Entregable 1 con formato acordado	✓ CUMPLE
Generar Entregable 2 con índice de focalización	✓ CUMPLE

Correo 2 (17 feb 2026) — Ajustes de Filtros y Pesos

Filtro/Ajuste	Estado	Verificación
Incluir Lat/Long de transformadores	✓ CUMPLE	100% georreferenciado
Excluir autogeneradores	✓ CUMPLE	0 en población final

Filtro/Ajuste	Estado	Verificación
Excluir sin medidor (código 6)	✓ CUMPLE	0 en población final
Solo estratos 1, 2, 3	✓ CUMPLE	Solo valores 1, 2, 3
Excluir sin código transformador	✓ CUMPLE	0 en población final
~~Solo subestaciones tipo poste~~	**ELIMINADO (abr 2026)**	Ver Correo 7 — se incorporan Pedestal e interiores
Excluir direcciones con "AP"	✓ CUMPLE	0 en población final
Consumo ≥ 40 kWh/mes	✓ CUMPLE	Mín: 40.00 kWh
Pesos IP: 30/5/50/15	✓ CUMPLE	Validado matemáticamente

Correo 3 (post 17 feb) — Filtros Adicionales + Entregable 3

Solicitud	Estado	Verificación
Consumo ≤ 240 kWh/mes	✓ CUMPLE	Máx: 240.00 kWh
Cartera ≤ $100,000	✓ CUMPLE	Máx: $99,964
Ent3 con formato Ent1 + IF ordenado	✓ CUMPLE	47,950 usuarios

Correo 4 (20 feb 2026) — Clusters Territoriales

Solicitud	Estado	Verificación
Clusters por barrio	✓ CUMPLE	155 barrios POT
Barrios ordenados por vulnerabilidad	✓ CUMPLE	Por Suma IF (volumen × intensidad)
Variables del Entregable 1 por usuario	✓ CUMPLE	26 columnas conservadas (incl. Barrio)

Correo 5 (10 mar 2026) — Barrio en Entregable 1

Solicitud	Estado	Verificación
Agregar columna Barrio al Entregable 1	✓ CUMPLE	26ª columna añadida por unión espacial POT
Cobertura de asignación	✓ INFO	348,624 / 386,008 usuarios con barrio (90.3%)
Validación cruzada con Entregable 4	✓ CUMPLE	46,573 usuarios verificados — coincidencia 100%
Barrios distintos asignados	✓ INFO	176 de 189 barrios POT representados

Correo 7 (13 abr 2026) — Eliminación Filtro Tipo de Subestación

> Solicitud: eliminar el filtro por **"TIPO DE SUBESTACIÓN"** de los Entregables 2, 3 y 4, dado que el equipo de caracterización de campo identificó clústeres residenciales viables en zonas atendidas por transformadores tipo Pedestal e interiores de edificación que cumplen todos los demás criterios

> Colombia Solar.
> Origen: observación de campo del equipo de caracterización — Barranquilla.

Solicitud	Estado	Verificación
Eliminar filtro `Tipo_subestacion == "Subestaciones de Distribución Tipo Poste"`	✓ CUMPLE	Filtro removido de `pipeline_colombia_solar.py`
Incorporar usuarios con subestación Pedestal	✓ CUMPLE	731 usuarios adicionales
Incorporar usuarios con subestación Interior edificación	✓ CUMPLE	464 usuarios adicionales
Mantener todos los demás filtros de elegibilidad	✓ CUMPLE	7 filtros restantes sin cambio
Recalcular IP para nueva población	✓ CUMPLE	IP en rango [0.0557, 1.0], idéntico en Ent2 y Ent3
Regenerar Entregable 4 (87 sectores)	✓ CUMPLE	Suma resumen = filas detalle = 49,145
Población elegible resultante	✓ INFO	**49,145** usuarios (+1,195 vs versión anterior)

Correo 6 (18 mar 2026) — Variables Catastrales/Prediales en Entregable 4

> Solicitud: agregar **Cédula Catastral, Código de medidor e Información Predial Utilizada** al Entregable 4 de Barranquilla y Barrancabermeja, a partir de los archivos de facturación v2.
> Origen: trabajos de campo FENOGE / GECELCA y requerimiento de los operadores de red.

Solicitud	Estado	Verificación
Agregar `Cédula_Catastral` al Ent4 Detalle	✓ CUMPLE	47,950/47,950 (100%) no nulos
Agregar `Código_Medidor` al Ent4 Detalle	✓ CUMPLE	47,950/47,950 (100%) no nulos, sin comas residuales
Agregar `Información_Predial_Utilizada` al Ent4 Detalle	✓ CUMPLE	47,950/47,950 (100%) no nulos
Fuente de datos	✓ VERIFICADO	`Informacion Facturacion Barranquilla 12M2025 - v2(in).csv`
Llave de unión	✓ VERIFICADO	NIU — coincidencia 100% (47,950/47,950)
Sin duplicación de filas	✓ CUMPLE	47,950 filas antes = 47,950 filas después

Solicitud	Estado	Verificación
Pipeline actualizado	✓ CUMPLE	`entregable_4_definitivo_pot.py` actualizado (fase 5)

6. Conclusiones para la Toma de Decisiones

6.1 Población Final Caracterizada

Dimensión	Valor	Interpretación
Usuarios elegibles	49,145	12.7% de la base original
Estrato 1	17,652 (35.9%)	Máxima prioridad
Estrato 2	18,894 (38.4%)	Alta prioridad
Estrato 3	12,599 (25.6%)	Prioridad media
Sectores AFINIA identificados	87	Cobertura territorial completa
Top 10 sectores (Score)	30,925 usuarios	62.9% de la población elegible

6.2 Implicaciones Económicas

1. **Focalización efectiva**: El proceso de filtrado redujo la población de 386,008 a 49,145 usuarios (87.3% de reducción), asegurando que los recursos del programa se dirijan exclusivamente a hogares que cumplen todos los criterios de vulnerabilidad energética.

2. **Eficiencia en la asignación**: El Índice de Focalización ordena a los usuarios de mayor a menor necesidad, permitiendo diferentes estrategias de selección muestral:

    - **Selección exhaustiva**: Intervenir a todos los 47,950 usuarios
    - **Selección por cuota**: Tomar los primeros N usuarios según presupuesto disponible
    - **Selección estratificada**: Asegurar representación proporcional por estrato y barrio

3. **Focalización en máxima demanda:** Los primeros 10 sectores del ranking concentran **62.9%** de los usuarios elegibles (30,925 de 49,145). El sector BA es el más poblado con 16,164 usuarios (32.9%). Los sectores BU, BG y BC tienen el mayor IP promedio (>0.74), indicando mayor concentración de alta vulnerabilidad individual.

4. **Riesgo de cartera controlado**: El 75% de usuarios no presenta deuda, minimizando el riesgo de morosidad post-instalación para el programa.

6.3 Recomendaciones Operativas

#	Recomendación	Justificación
1	**Inicio en sector BA**	16,164 usuarios (32.9%), mayor volumen absoluto
2	**Sectores alta vulnerabilidad Est1**	BU (98.9% est1), BC (97.8%), BG (95.4%) — IP prom > 0.74

#	Recomendación	Justificación
3	**Coordinar con AFINIA por código de sector**	Los 87 códigos corresponden a zonas operativas del operador
4	**Revisar SIN_BARRIO (1,834 usuarios)**	6º en ranking; requiere georreferenciación adicional de campo
5	**Validar THC con operador**	99.7% tiene THC=0, variable con baja discriminación actual
6	**Revisión de usuarios sin trafo**	2,363 usuarios sin código de transformador en base original

6.4 Cifras Clave para Presentaciones

```
┌──────────────────────────────────────────────────┐
│          COLOMBIA SOLAR - BARRANQUILLA 2025      │
│             (Actualizado: 13 de abril de 2026)   │
├──────────────────────────────────────────────────┤
│  Base inicial:              386,008 usuarios     │
│  Población elegible:         49,145 usuarios (12.7%)  │
│  Sectores AFINIA:                87 sectores     │
│  Estratos 1 y 2:             36,546 usuarios (74.4%)  │
│  Consumo promedio:            140.5 kWh/mes      │
│  Cartera promedio:             $7,502 pesos      │
│  Georreferenciación:              100%           │
│  Filtros de elegibilidad:            8 criterios │
└──────────────────────────────────────────────────┘
```

7. Advertencias de Calidad de Datos

Las siguientes observaciones **no son errores** del sistema, sino características de la información del operador de red:

#	Advertencia	Detalle	Recomendación
1	**THC casi siempre cero**	99.7% de usuarios tiene THC=0	Confirmar con operador si refleja realidad operativa
2	**Usuarios sin transformador**	2,363 usuarios sin código	Verificar completitud de base de transformadores

8. Detalle de Verificaciones Realizadas

Se ejecutaron **56 verificaciones** automatizadas sobre los 4 entregables:

Categoría	Verificaciones	Estado
Estructura de archivos	4	✓
Integridad de datos	12	✓
Aplicación de filtros	9	✓
Cálculo del IF	8	✓
Coherencia entre entregables	10	✓
Análisis territorial (Ent4)	6	✓
Estadísticas descriptivas	5	✓
Validación con ejemplos	2	✓
TOTAL	**56**	**✓ 54 OK, 2 advertencias**

---

9. Archivos Entregados

Archivo	Registros	Columnas	Formato
Entregable_1_Base_Datos_Beneficiarios.xlsx	386,008	28	Excel
Entregable_2_Indice_Focalizacion.xlsx	49,145	33	Excel
Entregable_3_Base_Datos_Beneficiarios_Priorizados.xlsx	49,145	33	Excel
Entregable_4_Barrios_Resumen.xlsx	87	10	Excel
Entregable_4_Detalle_Usuarios_por_Barrio.xlsx	49,145	35	Excel

---

Resumen Final: Los 4 entregables cumplen integralmente con la metodología acordada. La población de **49,145 usuarios** distribuidos en **87 sectores AFINIA** está lista para la selección muestral y envío a GECELCA y FENOGE. El 13 de abril de 2026 se eliminó el filtro por tipo de subestación, incorporando 1,195 usuarios adicionales en transformadores tipo Pedestal (731) e interiores de edificación (464) que cumplen todos los demás criterios del programa Colombia Solar.

> **Informe generado por:** Melissa Cardona
> **Herramienta de validación:** Scripts en Python (`pipeline_colombia_solar.py`, `verificacion_rigurosa.py`)
> **Fecha original:** 24 de febrero de 2026
> **Última modificación:** 13 de abril de 2026 — Rev. 4 (eliminación filtro tipo subestación)