
CAPACIDAD INSTALADA DE AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN EN SECTOR DE INDUSTRIA, PETRÓLEO, COMERCIO Y PÚBLICO DEL PAÍS

INFORME FINAL

Versión 1.1

Presentado a:
UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA-UPME
Subdirección de Demanda

ORIGINAL

CONSORCIO HART-RE
Bogotá, Diciembre 22 de 2014

**Ministerio de Minas y Energía Unidad de
Planeación Minero Energética - UPME**

Equipo de trabajo UPME:

Carlos Arturo García Botero
Camilo Táutica Mancera
Carolina Sánchez Ruiz

Equipo de trabajo Consorcio HART-RE

Andrés Almonacid
Daniela Angulo
Clemente Bustos
María Carolina Cortés
Julián García
Andrés González
Mayra Granados
Eilyn Hoyos
Felipe Morales
Sebastián Padilla
Carlos Plazas
Omar Prias
Medardo Prieto
Hernando Roa
Fernando Sánchez
Mauricio Torres

Agradecimientos

El Consorcio HART-RE agradece especialmente a la UPME y a cada una de las empresas, agremiaciones y entidades pertenecientes al sector de industria, petróleo, y comercial y público del país por aportar valiosa información, fundamental para el desarrollo del presente estudio.

De otro lado, el Consorcio hace un especial reconocimiento a todas las personas vinculadas con las áreas de mantenimiento, operaciones, producción y gestión energética por su invaluable tiempo y disposición al momento de ser entrevistados, pues sus aportes permitieron lograr una nueva visión de la autogeneración y la cogeneración en Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| RESUMEN EJECUTIVO | XIX |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES ----- | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS ----- | 3 |
| 1.2.1 Objetivo general----- | 3 |
| 1.2.2 Objetivos específicos ----- | 3 |
| 1.3 ALCANCE ESPECIFICADO POR LA UPME ----- | 4 |
| 1.4 DEFINICIÓN DE LOS SECTORES ----- | 5 |
| 1.4.1 Presentación de la clasificación CIIU ----- | 5 |
| 1.4.2 Estructura general y nomenclatura de la clasificación CIIU Rev. 4. ----- | 6 |
| 1.4.3 Definición sector de industria ----- | 8 |
| 1.4.4 Definición sector de comercio ----- | 10 |
| 1.4.5 Definición sector público ----- | 13 |
| 1.4.6 Definición sector petróleo----- | 14 |
| 1.4.7 Definición e inclusión de otros sectores----- | 14 |
| 1.5 MARCO DE REFERENCIA ----- | 15 |
| 1.5.1 Términos y definiciones técnicas ----- | 15 |
| 1.5.2 Definiciones desde la normativa eléctrica colombiana ----- | 16 |
| CAPÍTULO 2 | 22 |
| 2 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO | 22 |
| CAPÍTULO 3 | 25 |
| 3 GENERALIDADES DE LOS SECTORES DE INTERÉS, UNIVERSO Y MUESTRA REPRESENTATIVA | 25 |
| 3.1 GENERALIDADES DE LOS SECTORES ----- | 25 |
| 3.1.1 Generalidades sector de industria ----- | 25 |
| 3.1.2 Generalidades del sector de petróleo----- | 30 |
| 3.1.3 Generalidades sector de comercio y público----- | 54 |
| 3.1.4 Caracterización energética del sector servicios por tipo de establecimiento ---- | 55 |
| 3.2 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS DIFERENTES SECTORES OBJETO DEL ESTUDIO----- | 64 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| 3.2.1 | Universo de estudio ----- | 64 |
| 3.2.2 | Construcción del universo de estudio. ----- | 64 |
| 3.2.3 | Criterios de clasificación de la muestra----- | 66 |
| 3.2.4 | Muestra de establecimientos del sector de industria ----- | 67 |
| 3.2.5 | Muestra de establecimientos del sector petróleo ----- | 76 |
| 3.2.6 | Muestra del sector de comercio ----- | 77 |
| 3.2.7 | Muestra del sector público----- | 79 |
| 3.2.8 | Muestra del sector de hoteles y hospitales ----- | 81 |
| 3.2.9 | Resumen y resultados de la muestra ----- | 83 |
| CAPÍTULO 4 | | 85 |
| 4 | PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 85 |
| 4.1 | PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA ----- | 87 |
| 4.2 | FORMULARIOS DE ENCUESTAS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN-- ----- | 88 |
| 4.2.1 | Criterios generales para el diseño de los formularios ----- | 90 |
| 4.2.2 | Generalidades del formulario ----- | 91 |
| 4.2.3 | Declaración del propósito de la encuesta y manejo de información----- | 91 |
| 4.2.4 | Energía y energéticos empleados (matriz energética)----- | 94 |
| 4.2.5 | Capacidad instalada generación (energía eléctrica) ----- | 95 |
| 4.2.6 | Particularidades formulario del sector de industria ----- | 96 |
| 4.3 | PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA ----- | 106 |
| 4.4 | PROCESO DE ANÁLISIS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS----- | 108 |
| 4.5 | DIAGNÓSTICO DE LA ESTRATEGIA IMPLEMENTADA----- | 109 |
| 4.5.1 | Diagnóstico sector de industria----- | 110 |
| 4.5.2 | Diagnóstico sector petróleo ----- | 118 |
| 4.5.3 | Diagnóstico sector de comercio, público, hoteles y hospitales ----- | 120 |
| CAPÍTULO 5 | | 122 |
| 5 | RESULTADOS DE CAPACIDAD INSTALADA, EXCEDENTES Y OTROS RESULTADOS | 122 |
| 5.1 | INVENTARIO DE AUTOGENERACIÓN ----- | 122 |
| 5.1.1 | Autogeneración sector de industria ----- | 122 |
| 5.1.2 | Autogeneración sector petróleo ----- | 129 |
| 5.1.3 | Autogeneración sector de comercio----- | 133 |
| 5.1.4 | Autogeneración sector público ----- | 133 |
| 5.1.5 | Autogeneración sector hoteles y hospitales----- | 133 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.2 | INVENTARIO DE COGENERACIÓN ----- | 133 |
| 5.2.1 | Cogeneración sector de industria----- | 133 |
| 5.2.2 | Cogeneración sector petróleo ----- | 138 |
| 5.2.3 | Cogeneración sector de comercio ----- | 139 |
| 5.2.4 | Cogeneración sector público----- | 139 |
| 5.2.5 | Cogeneración sector hoteles y hospitales ----- | 140 |
| 5.3 | RESULTADOS SOBRE EXCEDENTES ----- | 140 |
| 5.3.1 | Excedentes de autogeneración ----- | 140 |
| 5.3.2 | Excedentes de cogeneración ----- | 140 |
| 5.4 | RESULTADOS DE EQUIPOS DE EMERGENCIA, DE RESPALDO Y RENOVABLES ----- | 142 |
| 5.4.1 | Sector de industria----- | 142 |
| 5.4.2 | Sector petróleo ----- | 143 |
| 5.4.3 | Sector de comercio----- | 145 |
| 5.4.4 | Sector público ----- | 149 |
| 5.4.5 | Sector hoteles y hospitales----- | 151 |
| 5.5 | CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS DE AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN----- | 154 |
| 5.6 | OTROS RESULTADOS OBTENIDOS----- | 157 |
| 5.6.1 | Sector de Industria ----- | 157 |
| 5.6.2 | Sector petróleo ----- | 162 |
| 5.6.3 | Sector de comercio----- | 163 |
| 5.6.4 | Sector público ----- | 165 |
| 5.6.5 | Sector hoteles y hospitales----- | 166 |
| 5.6.6 | Motivadores de inversión en capacidades de autogeneración, cogeneración y energías renovables ----- | 168 |
| | CAPÍTULO 6 | 172 |
| 6 | POTENCIAL DE AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN | 172 |
| 6.1 | SECTOR DE INDUSTRIA ----- | 172 |
| 6.1.1 | Cálculo potencial técnico teórico----- | 172 |
| 6.1.2 | Cálculo del potencial viable ----- | 175 |
| 6.2 | SECTOR PETRÓLEO ----- | 193 |
| 6.2.1 | Producción ----- | 193 |
| 6.2.2 | Transporte----- | 194 |
| 6.2.3 | Refinerías----- | 195 |
| 6.2.4 | Consolidado del sector petróleo----- | 196 |

| | | |
|---|---|------------|
| 6.3 | SECTOR DE COMERCIO, PÚBLICO, HOTELES Y HOSPITALES----- | 196 |
| 6.4 | POTENCIAL DE EXCEDENTES----- | 197 |
| CAPÍTULO 7 | | 198 |
| 7 | PROYECCIÓN DE LA AUTOGENERACIÓN Y LA COGENERACIÓN | 198 |
| 7.1 | SECTOR DE INDUSTRIA ----- | 198 |
| 7.1.1 | Metodología ----- | 198 |
| 7.1.2 | Información----- | 199 |
| 7.1.3 | Resultados sector de industria ----- | 202 |
| 7.1.4 | Caso específico del sector de industria - agroindustria de la palma de aceite - | 205 |
| 7.1.5 | Sector azucarero (Ingenios)----- | 207 |
| 7.2 | SECTOR PETROLEO ----- | 207 |
| 7.3 | SECTOR DE COMERCIO Y PÚBLICO ----- | 211 |
| 7.4 | PROYECCIÓN POR SECTORES ----- | 212 |
| CAPÍTULO 8 | | 213 |
| 8 | METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 213 |
| 8.1 | INFORMACIÓN DE PARTIDA----- | 213 |
| 8.2 | AJUSTE AL UNIVERSO ----- | 214 |
| 8.3 | AJUSTE A LA MUESTRA ----- | 215 |
| 8.4 | PROCESO DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN ----- | 216 |
| 8.5 | CRÍTICA DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA ----- | 217 |
| 8.6 | ANALISIS ESTADISTICO ----- | 217 |
| CAPITULO 9 | | 219 |
| 9 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 219 |
| 9.1 | CONCLUSIONES GENERALES----- | 219 |
| 9.2 | CONCLUSIONES PARA EL SECTOR DE INDUSTRIA ----- | 222 |
| 9.3 | CONCLUSIONES PARA EL SECTOR PETRÓLEO ----- | 225 |
| 9.4 | CONCLUSIONES PARA LOS SECTORES COMERCIAL Y PÚBLICO ----- | 227 |
| 9.5 | RECOMENDACIONES----- | 228 |
| BIBLIOGRAFÍA. | | 229 |
| ANEXO A-FORMULARIOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | | 232 |
| ANEXO B HERRAMIENTA CIU REV 3- CIU REV 4 | | 233 |
| ANEXO C APLICATIVO RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | | 234 |
| ANEXO D- ESTUDIO TECNOLÓGICO | | 235 |

| | |
|--|------------|
| ANEXO E- LISTADO D E ESTABLECIMIENTOS SECTORES DE INTERES | 236 |
| ANEXO F- ENCUESTAS RECOPIADAS EN EL ESTUDIO | 237 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1: Estructura general de la clasificación CIIU Rev. 4 | 7 |
| Figura 2: Esquema general de la metodología empleada..... | 22 |
| Figura 3: Disponibilidad de información oficial caracterización energética industrial respecto CIIU Rev.4..... | 27 |
| Figura 4: Sector de industria CIIU Rev.4-Intensidad energética | 29 |
| Figura 5: Cadena de producción - Sector de petróleo | 31 |
| Figura 6: Producción nacional de crudo por establecimientos - 2013..... | 32 |
| Figura 7: Producción nacional de crudo por campo, año 2013 (90%) | 33 |
| Figura 8: Producción de gas por establecimientos - 2013 | 34 |
| Figura 9: Producción de gas por campo - 2013..... | 34 |
| Figura 10: Campos de mayor producción en Ecopetrol, 2013 | 35 |
| Figura 11: Campos de mayor producción en Equion Energía Ltda, 2013 | 36 |
| Figura 12: Campos de mayor producción en Occidental de Colombia, 2013 | 37 |
| Figura 13: Campos de mayor producción en Mansarovar Energy Colombia Ltd., 2013 ... | 37 |
| Figura 14: Campos de mayor producción en Gran Tierra Energy Colombia Ltda, 2013 ... | 38 |
| Figura 15: Campos de mayor producción en Cepsa Colombia S.A., 2013 | 39 |
| Figura 16: Campos de mayor producción en Petrobras Colombia Limited, 2013 | 39 |
| Figura 17: Campos de mayor producción en Hocol, 2013..... | 40 |
| Figura 18: Campos de mayor producción en Petrominerales, 2013 | 41 |
| Figura 19: Campos de producción en Perenco, 2013..... | 42 |
| Figura 20: Campos de mayor producción en Parex, 2013..... | 42 |
| Figura 21: Campos de mayor producción en Meta Petroleum, 2013 | 43 |
| Figura 22: Esquema general de suministro de energía en producción | 45 |
| Figura 23: Sistema Nacional de Oleoductos | 47 |
| Figura 24: Oleoducto del Alto Magdalena | 48 |
| Figura 25: Oleoducto Caño Limón-Coveñas | 48 |
| Figura 26: Oleoducto Colombia | 48 |
| Figura 27: Oleoducto Central de Los Llanos | 48 |
| Figura 28: Oleoducto Ocesa | 49 |
| Figura 29: Red nacional de poliductos | 50 |
| Figura 30: Red nacional de gasoductos | 51 |
| Figura 31: Ubicación de las refinerías en Colombia | 53 |
| Figura 32: Evolución crudos y refinados procesados por Ecopetrol 2012-2013..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33: Consumo nacional 2012 Sectores comercio y público | 54 |
| Figura 34: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico frío | 56 |
| Figura 35: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico frío | 57 |
| Figura 36: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico frío | 57 |
| Figura 37: Consumos energéticos de hospitales grandes- Piso térmico frío..... | 58 |
| Figura 38: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico cálido..... | 59 |
| Figura 39: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico cálido..... | 59 |
| Figura 40: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico cálido | 60 |
| Figura 41: Consumos energéticos de hospitales grandes - Piso térmico cálido | 61 |
| Figura 42: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico templado | 62 |
| Figura 43: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico templado | 62 |
| Figura 44: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico templado..... | 63 |
| Figura 45: Consumos energéticos de hospitales grandes - Piso térmico templado | 64 |
| Figura 46: Distribución de la muestra - Altamente intensivos (AI) | 74 |
| Figura 47: Distribución de la muestra- Medianamente intensivos (MI) | 75 |
| Figura 48: Distribución de la muestra- Poco intensivos (PI) | 75 |
| Figura 49: Distribución geográfica de la muestra - Sector de comercio..... | 79 |
| Figura 50: Distribución geográfica de la muestra - Sector público..... | 80 |
| Figura 51: Distribución geográfica de la muestra - Sector hoteles y hospitales | 82 |
| Figura 52: Proceso de recolección de información..... | 86 |
| Figura 53: Proceso de recolección de información secundaria..... | 87 |
| Figura 54: Proceso de diseño de formulario por sectores | 89 |
| Figura 55: Propósito de la encuesta y manejo de información | 92 |
| Figura 56: Vista general sobre la información de contacto | 92 |
| Figura 57: Código de identificación encuesta..... | 93 |
| Figura 58: Diagrama de entradas y salidas- Sector de industria | 96 |
| Figura 59: Diseño del formulario dirigido al sector de industria | 98 |
| Figura 60: Diseño del formulario dinámico para los agentes de producción - Sector petróleo | 101 |
| Figura 61: Diseño del formulario dinámico para los agentes del transporte - Sector petróleo | 102 |
| Figura 62: Diseño del formulario dinámico para los agentes de la refinación - Sector petróleo | 103 |

| | |
|--|-----|
| Figura 63: Diseño del formulario dinámico - Sector de comercio y público..... | 105 |
| Figura 64: Proceso de recolección de información primaria | 107 |
| Figura 65: Proceso de análisis y obtención de resultados..... | 108 |
| Figura 66: Análisis preliminar Encuesta Anual Manufacturera 2012..... | 111 |
| Figura 67: Análisis de Pareto por consumo energía EAM | 112 |
| Figura 68: Análisis ventas de energía EAM..... | 113 |
| Figura 69: Consumidor energía eléctrica - Caso A y Caso B..... | 115 |
| Figura 70: Consumidor energía eléctrica - Caso C..... | 116 |
| Figura 71: Consumidor energía eléctrica - Caso D..... | 116 |
| Figura 72: Consumidor energía eléctrica - Caso B..... | 117 |
| Figura 73: Resultados en autogeneración por estrato - Sector de industria | 126 |
| Figura 74: Resultados en autogeneración por área geográfica - Sector de industria..... | 127 |
| Figura 75: Resultados en autogeneración por fuente energética primaria - Sector de industria..... | 127 |
| Figura 76: Resultados en autogeneración por tecnología - Sector de industria | 128 |
| Figura 77: Resultados en autogeneración por magnitud de los equipos instalados - Sector de industria | 129 |
| Figura 78: Resultados en autogeneración por etapa en la cadena productiva - Sector petróleo | 130 |
| Figura 79: Resultados en autogeneración por establecimientos en la cadena productiva - Sector petróleo | 130 |
| Figura 80: Resultados en autogeneración por área geográfica - Sector petróleo | 131 |
| Figura 81: Resultados en autogeneración por fuente energética primaria - Sector petróleo | 132 |
| Figura 82: Resultados en autogeneración por tecnología - Sector petróleo..... | 132 |
| Figura 83: Resultados en cogeneración por estrato - Sector de industria..... | 135 |
| Figura 84: Resultados en cogeneración por área geográfica - Sector de industria..... | 136 |
| Figura 85: Resultados en cogeneración por fuente energética primaria - Sector de industria..... | 136 |
| Figura 86: Resultados en cogeneración por tecnología - Sector de industria | 137 |
| Figura 87: Resultados en cogeneración por magnitud de los equipos instalados - Sector de industria..... | 138 |
| Figura 88: Generación mensual real entregada al SIN por los cogeneradores habilitados para ventas-Años 2013 y 2014 | 141 |
| Figura 89: Capacidad instalada en equipos de emergencia por estrato - Sector de industria | 143 |

| | |
|---|-----|
| Figura 90: Resultados energías renovables por departamentos - Sector petróleo..... | 144 |
| Figura 91: Resultados capacidad de respaldo vs capacidad de emergencia - Sector petróleo | 145 |
| Figura 92: Capacidad en plantas de emergencia - Sector comercio..... | 146 |
| Figura 93: Capacidad en plantas de respaldo - Sector de comercio..... | 146 |
| Figura 94: Aprovechamiento de energías renovables - Sector de comercio | 147 |
| Figura 95: Percepción de potencial en energías renovables - Sector de comercio | 148 |
| Figura 96: Percepción de potencial en energías renovables por tipo fuente energética - Sector de comercio | 149 |
| Figura 97: Capacidad plantas de emergencia - Sector público..... | 149 |
| Figura 98: Capacidad plantas de respaldo - Sector público..... | 150 |
| Figura 99: Aprovechamiento de energías renovables - Sector público | 150 |
| Figura 100: Percepción de potencial en energías renovables - Sector público | 151 |
| Figura 101: Percepción de potencial en energías renovables por tecnología - Sector público..... | 151 |
| Figura 102: Capacidad en plantas de respaldo - Sector hoteles y hospitales | 152 |
| Figura 103: Aprovechamiento de energías renovables - Sector hoteles y hospitales | 152 |
| Figura 104: Percepción de potencial en energías renovables - Sector hoteles y hospitales | 153 |
| Figura 105: Percepción de potencial en energías renovables sector hoteles y hospitales - Por tecnología..... | 153 |
| Figura 106: Resultados agregados por fuente energética en autogeneración - Todos los sectores..... | 155 |
| Figura 107: Resultados agregados por tecnología en autogeneración - Todos los sectores | 155 |
| Figura 108: Resultados agregados por tecnología en cogeneración - Todos los sectores | 156 |
| Figura 109: Resultados agregados por fuente energética en cogeneración - Todos los sectores..... | 157 |
| Figura 110: Usos de energía térmica (calor y frío) en el sector de industria..... | 158 |
| Figura 111: Tipos de equipos empleados en refrigeración | 159 |
| Figura 112: Tipos de equipos empleados en el uso de calor - Sector de industria | 160 |
| Figura 113: Distribución de los tipos de caldera-Sector de industria | 161 |
| Figura 114: Distribución del uso de energéticos - Sector de industria | 161 |
| Figura 115: Combustibles primarios empleados en el sector petróleo..... | 163 |
| Figura 116: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector de comercio | 164 |

| | |
|---|-----|
| Figura 117: Caracterización usos finales de energía - Sector de comercio..... | 164 |
| Figura 118: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector público | 165 |
| Figura 119: Caracterización usos finales de energía - Sector público..... | 166 |
| Figura 120: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector hoteles y hospitales . | 167 |
| Figura 121: Caracterización usos finales de energía - Sector hoteles y hospitales | 167 |
| Figura 122: Percepción del tiempo de retorno de inversión en el sector de industria | 168 |
| Figura 123: Percepción de potencial en energías renovables en el sector de industria .. | 169 |
| Figura 124: ¿Qué lo motivó a ser cogenerador? | 170 |
| Figura 125: ¿Qué lo motivaría a incrementar la capacidad de cogeneración?..... | 170 |
| Figura 126: Ubicación de los establecimientos sector de industria..... | 176 |
| Figura 127: Zona de establecimientos con bajo consumo de energía térmica Vs energía eléctrica | 177 |
| Figura 128: Potencial de tecnologías para el sector de industria | 178 |
| Figura 129: Autogeneradores y cogeneradores de la muestra-Capacidades y tecnologías | 179 |
| Figura 130: Algoritmo para el cálculo de límites de viabilidad según REE..... | 181 |
| Figura 131: Viabilidad bajo el criterio del REE para MCI empleando gas natural | 183 |
| Figura 132: Viabilidad bajo el criterio del REE para motores de combustión interna empleando hidrocarburos con API <30 | 184 |
| Figura 133: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de gas empleando gas natural | 186 |
| Figura 134: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de vapor a diferentes relaciones H/P | 187 |
| Figura 135: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de vapor con diferentes residuos agrícolas | 188 |
| Figura 136: Costo nivelado de energía para diferentes tecnologías de autogeneración . | 190 |
| Figura 137: Relación entre producción y consumo de energía | 194 |
| Figura 138: Relación entre el porcentaje de carga de las refinerías y la capacidad instalada en Autogeneración y Cogeneración | 195 |
| Figura 139: Proyección de producción de petróleo en Colombia..... | 208 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Clasificación de las actividades CIIU Rev.4..... | 7 |
| Tabla 2: Detalle de la sección C - Industria manufacturera | 8 |
| Tabla 3: Detalle de la sección G - Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas..... | 10 |
| Tabla 4: Detalle de la sección O - administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria | 13 |
| Tabla 5: Detalle sector petróleo | 14 |
| Tabla 6: Requisitos cumplimiento REE | 20 |
| Tabla 7: Capacidad instalada en cogeneración y autogeneración-ANDI | 26 |
| Tabla 8: Clasificación UNIDO de sectores industriales a partir de la Intensidad de consumo de energía..... | 28 |
| Tabla 9: Datos de producción de los establecimientos con mayor participación en el consumo de energía eléctrica. | 44 |
| Tabla 10: Información del sistema nacional de oleoductos del país | 46 |
| Tabla 11: Información del sistema nacional de poliductos del país del año | 49 |
| Tabla 12: Volúmenes de carga de las principales refinerías - 2013..... | 52 |
| Tabla 13: Resumen universo de establecimientos por sector..... | 65 |
| Tabla 14: Criterio de clasificación por piso térmico | 67 |
| Tabla 15: Distribución de los establecimientos industriales no regulados, clasificados por tamaño de planta e intensidad de uso de la electricidad | 68 |
| Tabla 16: Promedio de tamaño de planta -MW | 69 |
| Tabla 17: Desviación estándar del tamaño de planta -MW..... | 69 |
| Tabla 18: Coeficiente de variación del tamaño de planta | 70 |
| Tabla 19: Desviación estándar ponderada por el número de elementos en los subgrupos | 70 |
| Tabla 20: Varianza del tamaño de planta ponderada por el número de elementos en los subgrupos..... | 70 |
| Tabla 21: Cálculo del tamaño de muestra - Sector de industria | 72 |
| Tabla 22: Distribución de la muestra en los estratos - Sector de industria..... | 73 |
| Tabla 23: Distribución de la muestra aleatoria por departamento..... | 73 |
| Tabla 24: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del petróleo - Desviación estándar del tamaño de planta | 76 |
| Tabla 25: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del petróleo - Varianza del tamaño de planta | 76 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 26: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del sector petróleo.... | 77 |
| Tabla 27: Universo del sector de comercio de acuerdo con la altitud (pisos térmicos) | 78 |
| Tabla 28: Resumen muestra del sector de comercio | 79 |
| Tabla 29: Resumen muestra del sector público | 80 |
| Tabla 30: Población del sector hoteles..... | 81 |
| Tabla 31: Muestra del sector hoteles | 81 |
| Tabla 32: Población del sector hospitales | 82 |
| Tabla 33: Muestra del sector hospitales..... | 82 |
| Tabla 34: Muestra final del estudio | 84 |
| Tabla 35: Definiciones de las opciones de condición declarada por el establecimiento ... | 94 |
| Tabla 36: Tecnologías disponibles para autogeneración en Colombia | 95 |
| Tabla 37: Definiciones sobre el estado de las tecnologías | 96 |
| Tabla 38: Descripción del formulario de comercio y público..... | 104 |
| Tabla 39: Descripción de las fuentes de información del sector petróleo | 119 |
| Tabla 40: Factores de expansión y fracciones de muestreo..... | 123 |
| Tabla 41: Resultados del inventario de autogeneración para el sector de industria | 125 |
| Tabla 42: Resultados del inventario de cogeneración para el sector industria | 134 |
| Tabla 43: Capacidad instalada en establecimientos de refinación - Sector petróleo | 139 |
| Tabla 44: Resultados en energías renovables, equipos de respaldo y emergencia [MW] - Sector petróleo. | 144 |
| Tabla 45: Capacidades instaladas en solar fotovoltaica en el sector de comercio..... | 147 |
| Tabla 46: Resultados consolidados de autogeneración, cogeneración y equipos de emergencia para todos los sectores | 154 |
| Tabla 47: Resultados complementarios - Inventario capacidad de respaldo y renovables | 154 |
| Tabla 48: Distribución del uso de combustibles en el sector petróleo..... | 162 |
| Tabla 49: Proporciones de los posibles cogeneradores y autogeneradores en los estratos de interés..... | 173 |
| Tabla 50: Estimado de posibles autogeneradores y cogeneradores por estrato..... | 174 |
| Tabla 51: Potencial técnico en autogeneración y cogeneración | 174 |
| Tabla 52: Rendimientos mínimos equivalentes por combustible según la CREG..... | 180 |
| Tabla 53: Potencias viables de autogeneración por CIU Rev. 4..... | 191 |
| Tabla 54: Potencias viables de cogeneración | 193 |
| Tabla 55: Potencial del sector petróleo | 196 |
| Tabla 56: Inventario y potencial actual de autogeneración en la industria | 199 |
| Tabla 57: Inventario y potencial actual de cogeneración en la industria | 200 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 58: Incrementos de precios de largo plazo de la energía..... | 201 |
| Tabla 59: Elasticidades del potencial de autogeneración y cogeneración frente a variables | 201 |
| Tabla 60: Proyección del potencial de autogeneración con carbón | 202 |
| Tabla 61: Proyección del potencial de cogeneración con carbón | 203 |
| Tabla 62: Proyección del potencial de cogeneración con gas natural | 204 |
| Tabla 63: Estimación de capacidad de cogeneración y excedentes agroindustria de la palma de aceite | 205 |
| Tabla 64: Proyección de la cogeneración agroindustria de la palma de aceite - Periodo 2015 - 2019 | 206 |
| Tabla 65: Proyección de excedentes de la agroindustria - Periodo 2015 - 2019..... | 206 |
| Tabla 66: Capacidad instalada actual y potencia en excedentes en cogeneración [MW]-ASOCAÑA | 207 |
| Tabla 67: Ampliaciones de autogeneración - Campos de producción [MW] | 209 |
| Tabla 68: Ampliaciones de generación en el departamento de Putumayo en MW | 209 |
| Tabla 69: Proyectos futuros de energía indicados por las refinerías en entre 2015 y 2016 [MW] | 210 |
| Tabla 70: Proyección de autogeneración anual - Sector petróleo [MW] | 210 |
| Tabla 71: Proyección de cogeneración anual - Sector petróleo [MW] | 211 |
| Tabla 72: Consolidación de resultados - Sector petróleo [MW] | 211 |
| Tabla 73: Proyección del autogeneración y cogeneración en el sector industrial [MW] .. | 212 |
| Tabla 74: Proyección del autogeneración y cogeneración en el sector petróleo [MW] ... | 212 |

LISTA DE ABREVIATURAS EMPLEADAS EN EL INFORME

| | |
|----------------|---|
| AC | Corriente alterna |
| ACIPET | Asociación Colombiana de Ingenieros de Petróleos |
| ACP | Asociación Colombiana de Petróleo |
| ANDI | Asociación Nacional de Empresarios de Colombia |
| ANH | Agencia Nacional de Hidrocarburos |
| AOM | Administración de Operación y Mantenimiento |
| API | American Petroleum Institute |
| ASOCAÑA | Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia |
| BPDC | Barriles por día calendario |
| BHP | Boiler Horse Power (Caballo de Vapor) |
| BTU | Unidad del Sistema Inglés equivalente a 0,252 kcalorías |
| CAF | Corporación Andina de Fomento-Banco de Desarrollo de Latino América |
| CAPP | Canadian Association of Petroleum Producers |
| CAR | Corporación Autónoma Regional |
| CC1 (TG + TV) | Ciclo Combinado 1 (Turbina de Gas + Turbina Vapor) |
| CC2 (MCI + TV) | Ciclo Combinado 2 (Motor Combustión Interna + Turbina Vapor) |
| CGCEG | Cámara de Grandes Consumidores de Energía y Gas (ANDI) |
| CIIU | Clasificación Industrial Internacional Uniforme |
| CIF | Costo de instalación |
| CNE | Costo nivelado de energía |
| COP | Coefficient of Performance (Coeficiente de Desempeño) |
| COP\$ | Pesos colombianos |
| CPF | Central Production Facilities. Instalaciones centrales de producción. |
| CREG | Comisión de Regulación de Energía y Gas |
| CU | Producción total de Calor Útil del proceso |

| | |
|-----------|---|
| DC | Corriente continua |
| E/T | Relación entre la energía eléctrica y la energía térmica |
| EAM | Encuesta Anual Manufacturera |
| EE | Reducción Total Bruta de Energía Eléctrica |
| EOR | Enhanced Oil Recovery |
| EP | Energía primaria del combustible consumido por el proceso |
| ER | Energías Renovables |
| ESP | Emergency Standby Power (Equipo generador de emergencia) |
| FEDEPALMA | Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite |
| FNCE | Fuentes no Convencionales de Energía |
| FNCER | Fuentes no Convencionales de Energías Renovables |
| FOB | Free on board |
| FV | Fotovoltaica |
| GD | Generación Distribuida |
| GJ | Gigajoule |
| GN | Gas Natural |
| GWh | Gigavatio hora |
| GBTU | Unidad de energía equivalente a un millón de BTU |
| HRSG | Heat Recovery Steam Generator (Generador de vapor por recuperación de calor) |
| HVAC | Heating, Ventilating and Air Conditioning (Calentamiento, ventilación y aire acondicionado) |
| IPP | Índice de precios al productor total nacional |
| kW | Kilowatt |
| kWe | Kilowatt eléctrico |
| kWh | Kilowatt hora |
| KBPD | Thousand Barrels Per Day (Miles de barriles por día) |

| | |
|------------------|--|
| LCOE | Levelized Cost Of Energy (Costo nivelado de la energía) |
| LTP | Limited-Time Running Power (LTP) |
| m ³ | Metro cúbico |
| MCI | Motores de Combustión Interna |
| MME | Ministerio de Minas y Energía |
| MMm ³ | Millones de metros cúbicos |
| MMPCD | Millones de pies cúbicos por días calendario |
| m.s.n.m | Metros sobre el nivel del mar |
| MW | Megavatio |
| MWh | Megavatio hora |
| MWth | Megavatio térmico |
| MTG | Microturbinas de gas |
| n.c.p | No clasificado previamente |
| Nh | Número de la muestra |
| NIT | Número de Identificación Tributaria |
| OR | Operación de Redes ó Operaciones de Red |
| PCH | Pequeña Central Hidroeléctrica |
| REE | Rendimiento Eléctrico Equivalente |
| RSI | Residuos Sólidos Industriales |
| RSU | Residuos Sólidos Urbanos |
| RUA | Registro Único Ambiental |
| SDDP | Stochastic Dual Dynamic Programming (Programación Estocástica Dinámica Dual) |
| SDL | Sistema de Distribución Local |
| Sh | Desviación estándar de la población |
| SIN | Sistema Interconectado Nacional |

| | |
|-------|---|
| SFV | Celdas Fotovoltaicas |
| STR | Sistema de Transmisión Regional |
| SUI | Sistema Único de Información |
| Tcal | Teracalorías |
| TDR | Términos de Referencia |
| TG | Turbina de Gas |
| TIR | Tasa Interna de Retorno |
| TV | Turbina de Vapor |
| UNIDO | United National Industrial Development Organizations |
| Varh | Varianza de la población |
| WACC | Weighted Average Cost of Capital (Costo Medio Ponderado de Capital) |
| ZNI | Zonas No Interconectadas |

CONVERSIÓN DE UNIDADES

Unidades de Volumen

$$1 \text{ L} = 0,001 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 2,831 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ Gal} = 3,7854 \text{ L}$$

Unidades de Energía

$$1 \text{ Btu (Int.)} = 1,05505 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ cal (Int.)} = 4,1868 \text{ J}$$

Unidades de Potencia

| | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 kW | = 1 kJ/s | = 3412,14 Btu/h |
| Btu/s | = 1,055056 kW | |
| 1 hp (metric) | = 0,735499 kW | |
| 1 hp (UK) | = 0,7457 kW | |
| | = 2544,43 Btu/h | |
| 1 ton de refrigeración | = 12.000 Btu/h | |
| | = 3,51685 kW | |
| Caballo de fuerza de caldera (BHP) | = 9812,5 W | |
| | 33475 BTU/h | |

$$10^6 \text{ mega M}$$

$$10^9 \text{ giga G}$$

RESUMEN EJECUTIVO

Antecedentes

La UPME, de acuerdo con su misión de “Planear de manera integral el desarrollo minero energético, apoyar la formulación de política pública y coordinar la información sectorial con los agentes y partes interesadas” realiza los estudios y análisis necesarios que permita aportar la información y los escenarios actualizados y confiables a los diferentes actores del sector energético para el diseño de políticas y estrategias energéticas y la toma de decisiones del sector productivo en el país.

Por otra parte y tomando en consideración que el último estudio de inventario de cogeneración fue realizado en el año de 1996, se decidió adelantar un estudio que le permitiera actualizar el inventario de autogeneración y cogeneración para tres grandes sectores de la economía como son el sector de industria, petróleos y el comercio y público. De manera complementaria, los resultados del estudio se consideran muy útiles a la luz de las necesidades de análisis y reglamentación de lo establecido en la Ley 1715 de 2014, la cual tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, de carácter renovable en el sistema energético nacional.

Objetivos del Estudio

El estudio plantea retos exigentes e importantes para los sectores de industria, petróleo y comercial y público que se resumen en los siguientes objetivos:

- Establecer la capacidad instalada actualmente en procesos de autogeneración y cogeneración.
- Identificar y clasificar las tecnologías, energéticos empleados, niveles de consumo de éstos, aspectos financieros y de costos, entre otros; para los procesos de autogeneración y cogeneración.
- Identificar, para los próximos cinco años, los potenciales de crecimiento de los procesos de autogeneración y cogeneración.
- Desarrollar una metodología que permita, de forma periódica, actualizar la información recopilada sobre la capacidad instalada y potenciales de crecimiento, en procesos de autogeneración y cogeneración.

Marco de Referencia del Estudio

Definición de los sectores

Se consideró necesario hacer una precisión sobre la definición de los diferentes sectores objeto del estudio, para lo cual se acudió a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme, CIIU, de las actividades económicas en su Revisión 4.

Esta clasificación (CIIU Rev.4) fue acogida oficialmente por el DANE en el año 2012 (DANE, 2012) y “refleja en su estructura y base conceptual la realidad económica colombiana, partiendo de la versión oficial entregada por Naciones Unidas a la comunidad estadística internacional en el año 2009. La clasificación presenta modificaciones sustanciales en su estructura general y detallada, mediante la generación de nuevas categorías”.

La estructura general de la clasificación de las actividades económicas presenta una estructura jerárquica bajo una notación alfanumérica integrada por cuatro niveles, así:

- Sección (código alfabético)
 - División (dos dígitos)
 - Grupo (tres dígitos)
 - Clase (cuatro dígitos)

Los sectores objeto del estudio se encuentra clasificados como se presenta a continuación

| Sección | Descripción |
|---------|--|
| C | Industria Manufacturera |
| G | Comercio al por Mayor y al por Menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas |
| O | Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria |

Fuente (DANE, 2012)

Por su parte el sector petróleo en la cadena de producción, transporte y refinación se encuentra disgregado en varias divisiones y grupos dentro de la CIIU Rev. 4, como se puede observar a continuación:

| Sección | División | Grupo | Clase | Descripción |
|------------------------------------|----------|-------|-------|--|
| B- Explotación de minas y canteras | 06 | 061 | 0610 | Extracción de petróleo crudo |
| | | 062 | 0620 | Extracción de gas natural |
| | 09 | 091 | 0910 | Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y de gas natural |
| C-Industrias Manufactureras | 19 | 192 | 1921 | Fabricación de productos de la refinación del petróleo |
| | | | 1922 | Actividad de mezcla de combustibles |

Fuente: DANE, 2012

Es importante mencionar que la actividad de transporte (de crudo, derivados del petróleo o gas) no tiene una clasificación clara, por lo que la consultoría decidió asignarle la 0910 (ver tabla anterior), esto es, Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y gas natural.

Definiciones Técnicas

A continuación se definen y presentan algunos conceptos básicos desde el punto de vista técnico, fundamentales para la comprensión del presente informe.

Autogeneración: producción de energía eléctrica para atender total o parcialmente la carga del establecimiento.

Cogeneración: producción simultánea de dos o más tipos de energía, normalmente electricidad y energía térmica (calor o frío), aunque puede ser también energía mecánica (García Garrido & Fraile Chico, 2008). Según el orden de producción de energía eléctrica y energía térmica se clasifican en sistemas superiores y sistemas inferiores.

Sistemas Superiores: en inglés *topping-cycle*, son los sistemas de cogeneración más comunes en los que la fuente de energía primaria, es decir el combustible, se utiliza principalmente para la generación de energía eléctrica o energía mecánica como producto principal. En el proceso, parte del calor residual contenido en los gases de la combustión es recuperado con el fin de suministrar calor útil a un proceso productivo. Este sistema tiene aplicación en industrias de producción de papel, químicos, textiles, cerveza, azúcar, productos agroindustriales y alimentos, entre otros.

Sistemas Inferiores: en inglés *bottoming-cycle*, es otro sistema en el cual la energía primaria que se utiliza para la generación de calor útil para ser aprovechado en el proceso manufacturero y parte del calor residual de los gases de escape aprovechados para la generación de energía eléctrica. Los ciclos inferiores son menos comunes a los superiores, tienen aplicación en la industria del cemento, la siderúrgica, vidrio, petroquímica y química.

Consumidores puros: establecimientos que no poseen procesos de autogeneración o cogeneración y satisfacen la totalidad de su demanda de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional

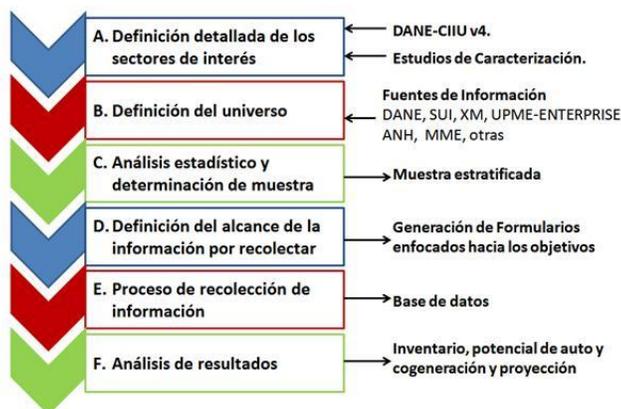
Equipo suministro eléctrico de emergencia: Equipo cuya aplicación es el suministro de energía eléctrica en un establecimiento al momento de sufrir cortes inesperados en el suministro eléctrico. Suministra electricidad a otros equipos o sistemas prioritarios (normalmente sin variación de carga), por un número de hora limitado, entre 50-100 horas por año.

Equipo suministro eléctrico de respaldo: Equipo cuya aplicación busca atender requerimientos de energía eléctrica durante cortes inesperados de electricidad en capacidad de atender capacidades y tiempos mayores a los atendidos por equipos de emergencia. El tiempo de operación anual puede ser del orden de 500 horas.

Metodología General del Estudio

La figura que se presenta a continuación resume la metodología general del estudio integrada por seis etapas.

Esquema general de la metodología empleada



Fuente: Elaboración de la consultoría

Aunque los sectores del estudio fueron claramente definidos: industria manufacturera, sector petróleo y el sector de comercio y público. La primera etapa (A) tiene el propósito definir de una manera clara y sistemática cada uno de estos sectores empleando definiciones oficiales como la Clasificación Industrial Uniforme de las actividades económicas (CIIU) en su versión 4.

La segunda etapa (B), tiene como objetivo definir el universo en cada uno de los sectores de interés; para lograr este objetivo, se consultaron diferentes fuentes de información y finalmente, se concluyó que la más adecuada para los propósitos del estudio fue la suministrada por XM. Definido el universo del estudio por cada uno de los sectores, se procede a hacer un análisis estadístico de las variables y de este modo determinar una muestra estratificada.

De otro lado y casi de manera paralela a la etapa anterior se desarrolló la etapa D con el objetivo definir el alcance de la información básica requerida para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

La siguiente etapa, corresponde con la recolección de información identificada con la letra 'E', que requirió conformar un equipo de profesionales calificados para sensibilizar y acompañar a los agentes de interés y así efectuar el proceso de ejecución de las encuestas.

En la etapa final de la metodología se realizan los análisis de resultados mediante metodologías estadísticas que permiten determinar el inventario de capacidad instalada en autogeneración y cogeneración en Colombia, su potencial y la proyección en los próximos cinco años.

Determinación del Universo y la Muestra para los Sectores objetivo

Características principales del Sector de Industria

Los estudios de caracterización de las diferentes actividades manufactureras a nivel local arrojan información relevante para el objeto del presente estudio, por ejemplo, con indicadores en el uso de la energía permiten identificar procesos que demandan mayor cantidad de energía que otros. A la fecha de ejecución de este estudio, no se contaba con pleno cubrimiento en materia de caracterización energética de todos los CIIU Rev.4 por lo que se acudió a investigar diferentes fuentes internacionales que establecieran una relación de la intensidad energética y las actividades económicas CIIU Rev. 4, entre la cuales se examinó la desarrollada por UNIDO¹.

En resumen, UNIDO posee y administra una gran base de información estadística industrial a nivel internacional con información detallada a partir de encuestas industriales o mediante censos periódicos hechos por las agencias nacionales de estadística de cada uno de los países. A continuación se presentan, a nivel de división CIIU Rev. 3² (dos

¹ UNIDO: United National Industrial Development Organizations también conocida como la agencia especializada de las Naciones Unidas para promover el desarrollo industrial para disminuir la pobreza, lograr una globalización inclusiva y la sostenibilidad ambiental de las actividades productivas"

² Aunque la fuente (UPADHYAYA, 2011) emplea CIIU Rev. 3 el Consultor hace el ajuste y correspondencia a CIIU Rev. 4

dígitos) las actividades económicas clasificadas de acuerdo con su intensidad de consumo energético definidas como alta, mediana y poca intensidad.

Clasificación UNIDO de sectores industriales a partir de la Intensidad de consumo de energía

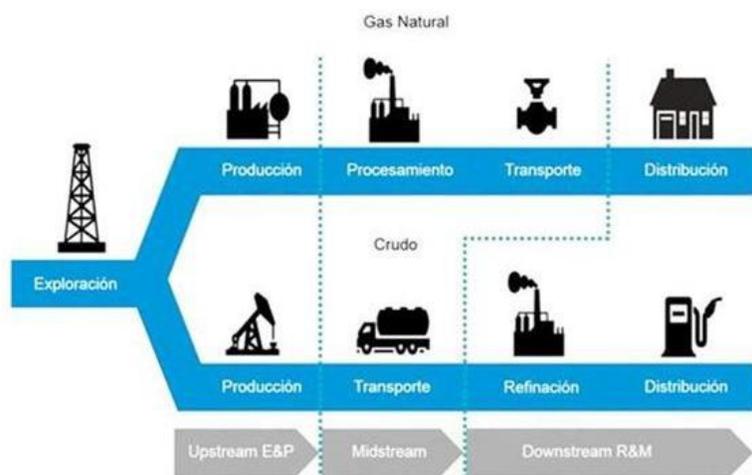
| Uso de energía | CIU | | Descripción |
|------------------------|--------|----------------------------------|---|
| | Rev.3. | Rev. 4 | |
| Altamente intensivo | 17 | 13 | Manufactura de textiles |
| | 21 | 17 | Papel y productos de papel |
| | 23 | 19 | Coque y productos refinación de petróleo |
| | 24 | 20 | Productos Químicos |
| | 26 | 23 | Productos Minerales no metálicos |
| | 27 | 24 | Manufactura de metales básicos |
| Medianamente intensivo | 15 | 10 | Productos alimentos y bebidas |
| | | 11 | Productos alimentos y bebidas |
| | 18 | 14 | Confexión, Tinturado prendas de vestir |
| | 19 | 15 | Manufactura de productos cuero |
| | 20 | 16 | Madera y productos de madera |
| | 22 | 18 | Impresión y publicaciones |
| | 24 | 22 | Productos de Plastico y caucho |
| 28 | 25 | Productos fabricación de metales | |
| Poco Intensivo | 16 | 12 | Productos de tabaco |
| | 29 | 28 | Maquinaria y equipo N.C.P |
| | 30 | 26 | Fab maquinaria de oficina, contabilidad y computo |
| | 31 | 27 | Maquinaria eléctrica y aparatos N.C.P |
| | 32 | 26 | Equipos de radio, tv y comunicaciones |
| | 33 | 26 | Instrumentos médicos, de precisión y ópticos |
| | 34 | 29 | Vehículos, remolques y semiremolques |
| | 35 | 30 | Fab de otros equipos de transporte |
| | 36 | 31 | Manufactura de Muebles y otros N.C.P |
| | 37 | 37 | Reciclaje (Sección E) |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Características principales del Sector Petróleo

En el sector petróleo se han identificado (3) tres grandes áreas que conforman la cadena productiva de este sector como se presenta a continuación:

Cadena de producción - Sector petróleo



Fuente: Petrostrategies, 2014

- **“Upstream” - Producción**, comprende todas las actividades de exploración y explotación de los pozos y campos petroleros incluidos las líneas de flujo que permiten transportar el crudo hasta las facilidades de tratamiento.
- **“Midstream” - Transporte**, lo conforman los diferentes oleoductos y poliductos la red de transporte de hidrocarburos del país.
- **“Downstream” - Refinación**, hace relación con la actividad de procesamiento del crudo (refinación y petroquímica).

A partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía (MME) junto con los reportes de XM sobre consumos de energía, se identifican los 10 establecimientos de este sector que consumen mayor energía eléctrica en Colombia, de las cuales ocho (8) corresponden a compañías petroleras operadoras: Metapetroleum, Occidental, Ecopetrol, Mansarovar, Cepcolsa, Hocol, GranTierra y Petrobras -hoy Perenco. Uno (1) corresponde a refinación Reficar y uno (1) al sector petroquímico (Cabot Colombiana S.A.).

La tabla que se presenta a continuación incluye la información de los establecimientos que corresponden de manera exclusiva a la etapa de producción. (Ministerio de Minas y Energía, 2013). Hay igualmente algunas compañías de servicios con pequeñas participaciones y que de acuerdo con las prácticas normales de la industria, no son ni autogeneradores ni cogeneradores. Ahora bien, es preciso aclarar que para los propósitos del estudio, la investigación debe efectuarse a cada una de las unidades productivas, puesto que el potencial de autogeneración y cogeneración se estiman de acuerdo con las necesidades particulares de cada una de ellas.

Principales establecimientos con mayor participación en el consumo de energía eléctrica.

| No. | Empresa | Participación por consumo de energía (%) | Participación por producción (%) |
|-----|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Meta Petroleum Ltda | 30,9 | 26,5 |
| 2 | Occidental de Colombia - OXY | 29,8 | 5,9 |
| 3 | Ecopetrol | 22,8 | 35,5 |
| 4 | Mansarovar Energy Colombia | 4,6 | 3,7 |
| 5 | Cepcolsa | 3,5 | 2,2 |
| 6 | Hocol | 2,9 | 2,1 |
| 7 | Gran Tierra Energy Colombia Ltda | 1,6 | 2,4 |
| 8 | Petrobras | 1,2 | 2,0 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Características principales del Sector de Comercio y Público

Para esta consultoría se utilizó parte de los resultados del estudio adelantado por la UPME en el año 2013 (CORPOEMA - UPME, 2013) para la “Determinación del Potencial de Reducción del Consumo Energético en el Sector Servicios”, en especial con la información de las regiones y pisos térmicos del país, las características energéticas del sector relacionadas con el consumo de energía, los tipos de energéticos utilizados, los usos

finales, procesos y la estimación de potenciales de ahorro, agrupados en cuatro regiones del país: centro, costa, noroccidente, suroccidente y en los departamentos que hacen parte del SNI - Sistema Interconectado Nacional en tamaños de establecimiento, micro, pequeño, mediano y grande de acuerdo con el valor de los activos.

Analizando los resultados del Balance Energético (UPME 2012) y del estudio en referencia, se logró concluir que el sector terciario en Colombia es el de menor demanda de energía, con una participación del 7% de la energía final con contribución en el PIB nacional del 60%. Para el año 2012, el consumo de energía del sector servicios fue de 13.775.000 MWh (49.590,00 TJ), con un 66,2 % en energía eléctrica, gas natural con el 28,9% y el GLP con una participación de 4,8%. El diesel se utiliza en forma marginal, especialmente en las plantas de emergencia.

En relación con los consumos de energía por usos finales se identificó que el mayor consumo de energía se concentra en iluminación, seguido del acondicionamiento de espacios y refrigeración, con una participación de un 7,7% en calor directo, 0,9% calor indirecto, 31% en iluminación, 13,9% en refrigeración, 22,8% en acondicionamiento de espacios, 12,4% en fuerza motriz, 8,8 % en equipos de oficina, 1,4% servicios generales y 1,0% en otros usos.

Otra conclusión importante de la caracterización del sector terciarios aplicable al sector de comercio y al sector público es la clara dependencia de los consumos de energía de acuerdo con los pisos térmicos, por lo que para este estudio se definieron los pisos térmicos como Frio para altitud mayor a 2.000 msnm, Templado para alturas entre 1.000 y 2000 msnm y Cálido hasta los 1.000 msnm

Definición de la muestra para los diferentes sectores objeto del estudio

Universo del estudio

Está conformado por los establecimientos no regulados de los sectores de industria, petróleo, comercio y público que pertenezcan a la clasificación CIU Rev. 4. Se incluye además, como complemento a la investigación, los establecimientos hospitalarios y hoteleros. La tabla que se presenta a continuación ilustra el tamaño del universo para los sectores mencionados.

Resumen universo de establecimientos por sector

| Sector | Establecimientos | |
|--------------|------------------|------------|
| | Número | % |
| Industria | 2.106 | 56 |
| Comercio | 1.107 | 29 |
| Hospitales | 171 | 5 |
| Hoteles | 169 | 4 |
| Público | 119 | 3 |
| Petróleo | 97 | 3 |
| Total | 3.769 | 100 |

Fuente: XM y elaboración de la consultoría

Criterios de clasificación de la muestra

A continuación se describen los criterios de clasificación considerados para cada uno de los sectores y la determinación de la muestra.

Tamaño de planta: Este criterio aplica para todos los sectores y se establece haciendo cálculos orientados a determinar el tamaño de planta de generación de energía eléctrica que de acuerdo con los consumos registrados por XM en cada uno los establecimientos podría abastecer su demanda de energía.

El tamaño de planta se ha definido en este estudio como la capacidad nominal de una planta de generación equivalente que operada permanentemente a plena carga, puede aportar la energía consumida por el establecimiento, por un periodo de tiempo dado.

Intensidad energética: Cantidad de energía utilizada para producir unidades definidas de producción y/o actividad. Se mide como la cantidad de energía requerida para desempeñar una actividad en particular. Se expresa como unidades de energía por unidad de producción. (DOE, 2012). Para los propósitos del estudio se tomó la clasificación genérica presentada previamente.

Piso térmico: Para los sectores de comercio, público, hoteles y hospitales, adicional a la clasificación por el tamaño de planta equivalente calculado, se realizó una estratificación de la población de acuerdo con su ubicación geográfica (ciudad) y la altitud (m.s.n.m.) de acuerdo con los pisos térmicos definidos previamente.

Cadena de producción (Petróleo): A diferencia del sector de industria, comercio y público, los puntos de consumo de energía en el sector petróleo son administradas por pocas compañías en el país, como es el caso de Ecopetrol que asocia cerca de 50 de estos puntos, por ese motivo se decidió definir el tamaño de la muestra teniendo muy presente la cadena productiva.

Finalmente utilizando las técnicas de tratamiento de información estadística para determinación de muestras representativas con análisis específicos para cada sector, conservando unicidad de criterio al tener una estratificación mediante dos variables; la primera por tamaño de planta, para todos los sectores y la otra, por intensidad de consumo para el caso del sector de industria, para petróleos por la cadena productiva y por piso térmico para el sector de comercio y público, con lo cual se obtienen los resultados que se presentan a continuación.

Muestra final del estudio

| Sector | Tamaño de muestra | Tamaño de población |
|------------|-------------------|---------------------|
| Industrial | 232 | 2.106 |
| Comercial | 33 | 1.107 |
| Petróleo | 24 | 97 |
| Publico | 34 | 127 |
| Hoteles | 10 | 169 |
| Hospitales | 9 | 171 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Proceso de Recolección de Información

El proceso de recolección de información empleado está compuesto por tres subprocesos los cuales son:

- A. Proceso de recolección de información secundaria
- B. Proceso de recolección de información primaria
- C. Proceso de análisis y obtención de resultados

De igual manera, se diseñó un formulario de encuesta que permitiera recopilar información clave tratando de obtener la información estrictamente necesaria para dar cumplimiento a los objetivos del estudio y se estructuró con las siguientes partes constitutivas:

1. Declaración del propósito de la encuesta y manejo de información (UPME)
2. Información de contacto
3. Declaración de autogenerador / cogenerador / no autogenerador-no cogenerador
4. Energía y energéticos empleados (matriz energética)
5. Capacidad instalada generación (energía eléctrica)
6. Motivadores para ser autogenerador /cogenerador (si aplica)

Resultados de inventario de autogeneración y cogeneración en Colombia

A continuación se presentan los resultados del inventario para cada uno de los sectores objeto del estudio y desagregados en: autogeneración, cogeneración, plantas de respaldo, plantas de emergencia y energías renovables.

Inventario de Autogeneración

Autogeneración sector de industria

Uno de los objetivos del estudio consiste en estimar la capacidad total de la autogeneración, cogeneración y capacidad de equipos de emergencia con que cuenta el país. Para estos efectos, a continuación se ilustra el procedimiento de cálculo de las estimaciones de dichos totales y medias poblacionales.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el modelo de muestreo no es autoponderado (como ocurre con los modelos de asignación proporcional al tamaño del estrato), las estimaciones se realizan tomando en cuenta e independientemente cada estrato así:

- La fracción de muestreo correspondiente a cada estrato corresponde al tamaño de muestra logrado en el estrato dividido por la población de elementos en el correspondiente estrato (industrias, establecimientos comerciales o públicos).
- El factor de expansión para estimaciones derivadas del total de la muestra corresponde al inverso de la fracción de muestreo.

A partir del procesamiento de la información recopilada se presenta a continuación la estimación del inventario de autogeneración para cada uno de los estratos en que se dividió el sector industria.

Resultados del inventario de autogeneración para el sector de industria

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Proporción de autogeneradores por estrato | N° estimado de autogeneradores en el universo | Capacidad instalada media por autogenerador [MW] | Estimado de la capacidad instalada en autogeneración [MW] |
|------------------------|------------------------|---|---|--|---|
| TP ≥ 2 | Altamente intensivo | 21% | | 12,9 | 207 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 25% | 1 | 2,0 | 2 |
| 1 ≤ TP < 2 | Altamente intensivo | 7,1% | 3 | 4,6 | 14 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| ½ ≤ TP < 1 | Altamente intensivo | 20% | 11 | 1,0 | 11 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| TP < ½ | Altamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| Total | | | 31 | 3,3 | 234 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Como se puede observar de la tabla, el resultado consolidado para el sector de industria alcanza a superar la cifra de los 234 MWe.

Autogeneración sector petróleo

La tabla que se presenta a continuación consigna el inventario de autogeneración en el sector de petróleo desagregada para las partes constitutivas de la cadena productiva.

Inventario de Autogeneración en el sector petróleo

| Área de la Cadena Productiva | Capacidad instalada en autogeneración [MW] | Participación (%) |
|------------------------------|--|-------------------|
| Refinación | 54,0 | 6% |
| Transporte | 111,3 | 11% |
| Producción | 789,3 | 83% |
| Total | 954,6 | 100% |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Autogeneración sector de comercio, público, hoteles y hospitales

En los sectores comercio y público no se encontró capacidad instalada de generación de tipo convencional. Se encontró una pequeña capacidad en energías renovables no convencionales que se presenta más adelante.

Los únicos establecimientos (por fuera de la muestra) identificados con autogeneración fueron en el sector público (defensa) en dos sitios con capacidades de 2,7 MW y 1,4 MW para un total de 4,1 MW, mediante tecnología de motor de combustión interna y diésel como combustible.

Inventario de Cogeneración

Cogeneración sector de industria

A partir del análisis estadístico de la muestra y sus parámetros de expansión a la población, a continuación se presenta la estimación del inventario de la cogeneración para el sector de industria.

Resultados del inventario de cogeneración para el sector industria

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Proporción de cogeneradores por estrato | N° estimado de cogeneradores en el universo | Capacidad instalada media por cogenerador | Estimado de la capacidad instalada en cogeneración (MW) |
|------------------------|------------|---|---|---|---|
| TP ≥ 2 | Alta | 23,2 % | 17 | 14,4 | 247,5 |
| | Media | 34,1 % | 16 | 20,4 | 319,1 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 ≤ TP < 2 | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 22,2 % | 14 | 1,4 | 19,6 |
| | Poca | 20,0 % | 3 | 1,8 | 4,6 |
| ½ ≤ TP < 1 | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 5,9 % | 8 | 0,8 | 6,0 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TP < ½ | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | | 58 | 3,2 | 596,7 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Como se puede observar se obtiene una cifra superior a los 596,7 MWe.

Cogeneración sector petróleo

En este importante sector se encontró un total de 95 MW concentrados en las dos grandes refinерías que posee el país

Cogeneración sector de comercio, público, hoteles y hospitales

La totalidad de los establecimientos encuestados, de estos sectores, manifestaron no tener proyectos de cogeneración de energía ni proyectos a de éste tipo a futuro. Las razones principales son diferentes dependiendo del sector, por ejemplo, en el sector público, manifiestan que lograr la asignación presupuestal para la inversión en éste tipo de proyectos es extremadamente difícil. En otros sectores, como el comercial, priman los altos periodos de retorno de la inversión y en general se observa bajo conocimiento de las tecnologías y bajas capacidades en gestión para este tipo de proyectos. Ahora bien, se destaca que en el sector hotelero en la Costa Caribe, se tiene prevista la inversión por parte de una empresa externa a partir de enero de 2016 en un esquema de negocio de compra de energía.

Consolidación de resultados de inventario

En las tablas que se presenta a continuación se consolidan los resultados encontrados en cuanto a autogeneración, cogeneración, a capacidades de emergencia, respaldo y energías renovables (PCH y FNCE).

Resultados consolidados de autogeneración, cogeneración y equipos de emergencia

| Sector | Autogeneración [MW] | Cogeneración [MW] | Emergencia [MW] | Total [MW] |
|---------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Industria | 234,0 | 596,7 | 136,4 | 967,1 |
| Petróleo | 955,0 | 151,0 | 4,3 | 1.110,3 |
| Comercial/Publico y Otros | 4,1 | 0,0 | 65,0 | 69,1 |
| Total | 1.193,1 | 747,7 | 205,7 | 2.146,5 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Resultados complementarios - Inventario capacidad de respaldo y renovables

| Sector | Respaldo [MW] | Renovables [MW] | Total [MW] |
|-------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| Industria | 77,1 | 8,5 | 81,6 |
| Petróleo | 103,0 | 0,5 | 103,5 |
| Comercial/Publico/Otros | 74,1 | 0,5 | 74,6 |
| Total | 254,2 | 9,5 | 263,7 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Potencial de autogeneración y cogeneración

Sector de Industria

Para las estimaciones del potencial se efectuaron dos cálculos, a saber: primero, un potencial técnico y segundo un potencial viable (económicamente).

El potencial técnico en autogeneración y cogeneración se estimó bajo la premisa de que los consumidores puros de cada estrato llegasen a convertirse en cogeneradores o autogeneradores dependiendo de las características propias de sus procesos productivos y de sus consumos de energía eléctrica y combustibles.

Para la estimación se consideran los siguientes aspectos:

- El potencial técnico de incremento en la capacidad instalada en cogeneración y autogeneración se encuentra en los consumidores puros de cada estrato.
- Los consumidores puros de un estrato, están en capacidad de llegar a tener una capacidad instalada (en autogeneración o cogeneración) igual al promedio de capacidad instalada encontrada en el estrato al que pertenecen.
- Los consumidores puros de cada estrato pueden clasificarse como potenciales cogeneradores o autogeneradores según su código CIU Rev. 4.
- Los estratos clasificados con procesos de baja intensidad y con tamaños de planta menores a 0,5 MW se excluyen del análisis, dadas sus propias características.

El cálculo del *potencial viable* se efectúan en dos etapas, una primera que permite identificar el potencial técnico viable desde el punto de vista de las tecnologías aplicables a cada caso particular y en segundo lugar el potencial económico comparando el costo de producción de energía contra la tarifa eléctrica disponible en la red pública.

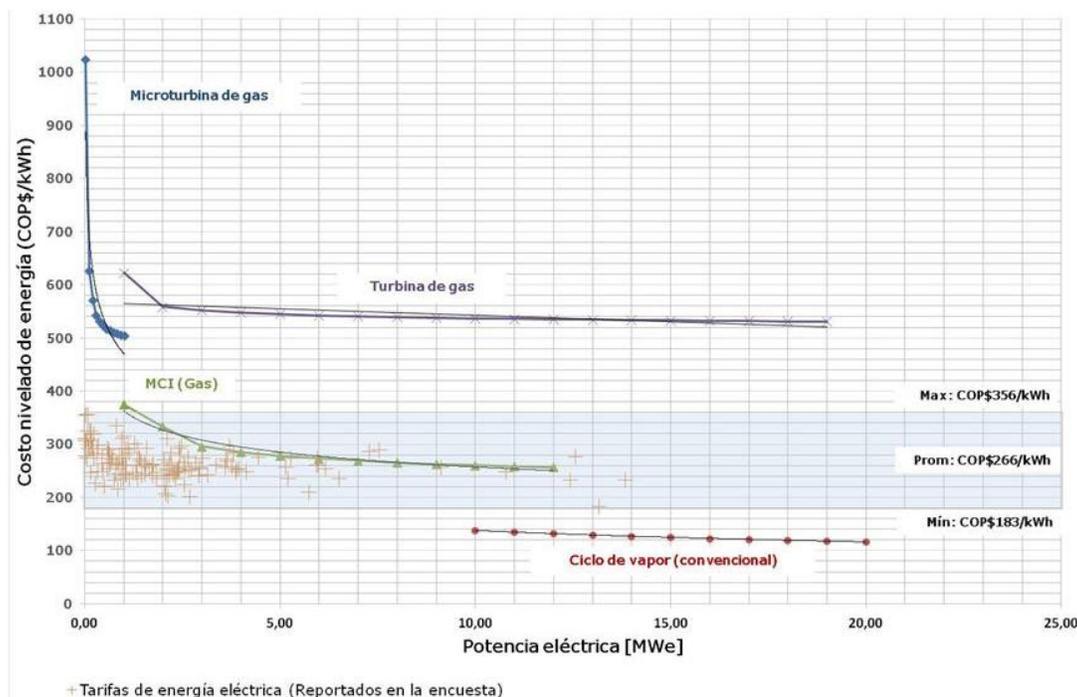
Potencias viables de autogeneración por CIU Rev. 4

| CIU Rev.4 | Subsector | Potencia económicamente viable |
|--------------|---|--------------------------------|
| 170 | Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón | 27,0 MW |
| 201 | Fabricación sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánico | 12,6 MW |
| 241 | Industrias básicas de hierro y de acero | 23,2 MWe |
| Total | | 62,8 MWe |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente, sugerimos examinar la figura siguiente la cual permite concluir que para que la autogeneración de un industrial se vuelva competitiva, es necesario que instale capacidades significativamente superiores a su demanda, de tal manera que pueda capturar las economías de escala y el costo de su generación se ubique por debajo de la tarifa de energía del SIN. Ahora bien, para que un empresario decida instalar una capacidad significativamente superior a su demanda, tendría que percibir una gran certidumbre en los ingresos que obtendría por la venta de sus excedentes.

Costo nivelado de energía para diferentes tecnologías de autogeneración



Fuente: Elaboración de la consultoría

Siguiendo la misma metodología para estimar el potencial de cogeneración se tienen los siguientes resultados.

Potencias viables de cogeneración

| Esquema | Potencial económico [MW] |
|--|--------------------------|
| Motor Combustión Interna empleando gas natural | 17,4 |
| Ciclo de vapor empleando carbón | 27,0 |
| Total | 44,4 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Sector Petróleo

Para la estimación del potencial en este sector se efectuó un análisis de las características de cada una de las etapas o eslabones que constituyen la cadena productiva que se presentan a continuación:

Potencial del sector petróleo

| Área de la cadena | Autogeneración (MW) | Cogeneración (MW) |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| Producción | 19,5 | - |

| Área de la cadena | Autogeneración (MW) | Cogeneración (MW) |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| Transporte | 20 | - |
| Refinación | 2,8 | 5 |
| Total | 42,3 | 5 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Sector de Comercio, Público, Hoteles y Hospitales

Dada la información recopilada en las encuestas y a la identificación tanto de los diferentes motivadores como de las dificultades y barreras para emprender proyectos de esta naturaleza no se observa claramente que exista un potencial real viable a corto plazo; sin embargo. Se identifican muchas acciones en el área de la eficiencia energética.

Proyección de la autogeneración y la cogeneración (2015 -2019)

Las proyecciones del potencial de la autogeneración y de la cogeneración para los próximos 5 años (2015 a 2019) para el **sector de industria**, parten de la base del inventario y del potencial viable actual y se proyectan utilizando un modelo econométrico considerando las expectativas de evolución de las variables que se considera tiene impacto positivo o negativo, dentro de ellas se cuentan: a) Crecimiento real esperado de la industria, medido por el PIB agregado del sector, b) Evolución esperada del precio de la energía eléctrica en el SIN, c) Evolución esperada del costo de la energía autogenerada o cogenerada, d) Evolución de los precios (costos) relativos entre el costo de la energía autogenerada o cogenerada y el precio de la energía eléctrica en el SIN.

Potencial proyectado para el sector industrial (no incluye sector azucarero)

| | Capacidad en MW | | | | |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Autogeneración con carbón | 67,2 | 72,1 | 77,3 | 82,9 | 88,9 |
| Cogeneración con carbón | 29,0 | 31,2 | 33,5 | 36,0 | 38,7 |
| Cogeneración con gas natural | 16,6 | 15,9 | 15,2 | 14,6 | 13,9 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Dadas las características propias del **sector petróleo** donde pocos actores definen las proyecciones del mismo, se han tomado las informaciones disponibles de fuente primaria y secundaria. De similar manera se ha procedido con el sector azucarero y el palmicultor (palma de aceite) que tienen sus propias proyecciones. Los resultados se consolidan a continuación.

Capacidades proyectadas de autogeneración y cogeneración en los sectores petróleo, azucarero y palmicultor

| | Capacidad en MW | | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Sector Petróleo | | | | | |
| Autogeneración | 63,6 | 139,4 | 24,0 | 724,0 | 24,0 |
| Cogeneración | 112,8 | 59,0 | - | - | - |
| Total | 176,4 | 198,4 | 24,0 | 724,0 | 24,0 |
| Sector Azucarero | | | | | |
| Cogeneración | 260,0 | 290,0 | 360,0 | | |
| Sector Palmicultor | | | | | |
| Cogeneración | 246,6 | 258,9 | 271,3 | 283,6 | 295,9 |
| Total | 506,6 | 548,9 | 631,3 | 283,6 | 295,9 |

Fuente: Información primaria & elaboración de la consultoría

Dado los resultados obtenidos de ausencia de autogeneración y cogeneración en el sector comercial y público, el consultor no ha considerado prudente aventurarse a efectuar proyecciones sobre implementación de proyectos. Se cree que en la medida que la ley 1715 de 2014 y su reglamentación quede plenamente en vigor y a partir de algunas experiencias sobre energías renovables no convencionales se podría generar una dinámica positiva y tener elementos más sólidos para poder hacer una proyección.

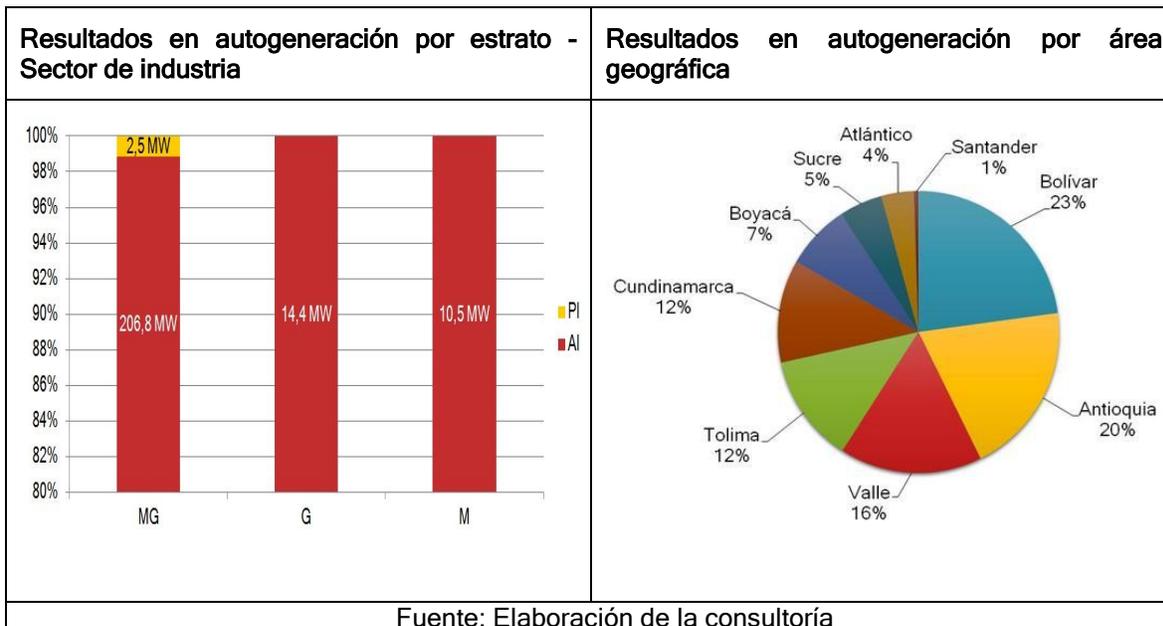
Resultados complementarios de interés

A partir de la información obtenida de los diferentes sectores objeto del estudio se tienen los siguientes resultados:

En el sector industria, la mayor capacidad instalada de autogeneración se encuentra en el estrato MG-AI³ con 206,8 MWe lo cual corresponde al 86,6% del total de capacidad instalada, lo cual significa que dicha capacidad está concentrada en unidades manufactureras altamente intensivas con tamaños de planta grandes, lo cual es un resultado coherente con lo esperado.

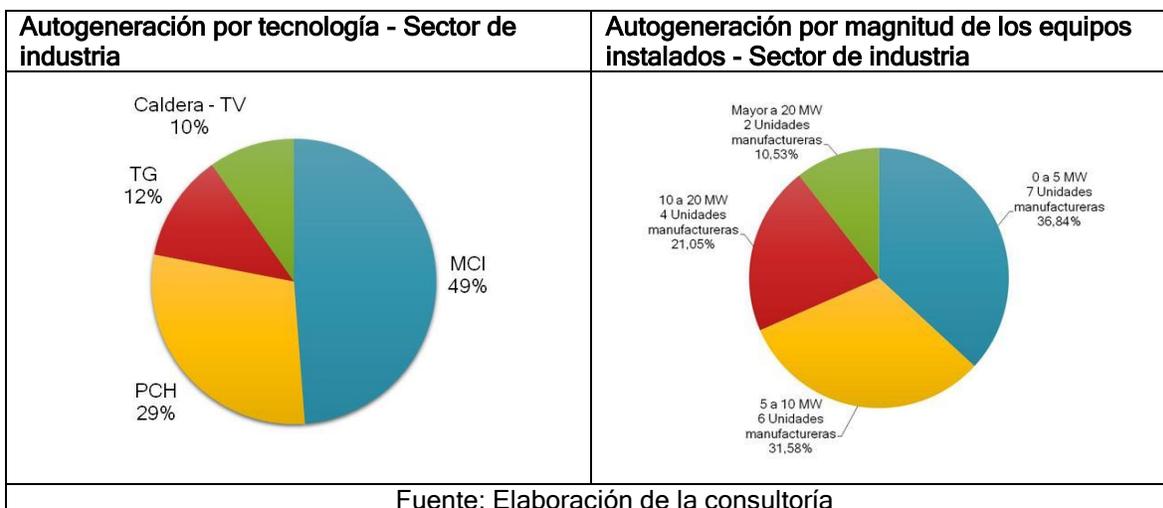
³ Para efectos de facilidad se tienen las siguientes definiciones equivalentes para tamaño de planta TP ≥ 2MW: MG-Muy grande, 1 ≤ TP <2 MW: G:-Grande, ½ ≤ TP <1 MW: M-Mediano, TP <½ MW: P- Pequeño.

Y en cuanto a intensidad de consumo de energía (intensidad energética) se tiene las siguientes definiciones equivalentes: AI: Altamente Intensivo, I: Intensivo, PI: Poco Intensivo



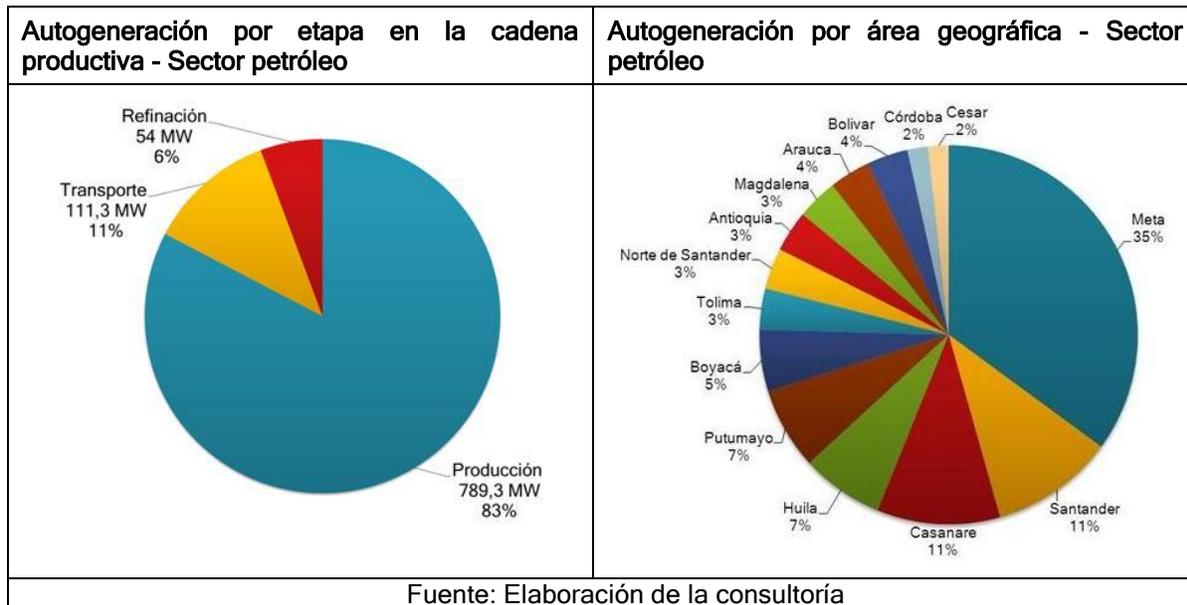
Ahora bien, desde el punto de vista geográfico, se observa que los departamentos de Bolívar, Antioquia y Valle concentran la mayor participación en la autogeneración con casi el 60% coincidiendo con las regiones más industrializadas de Colombia.

La siguiente figura indica que la principal tecnología utilizada es la de motor de combustión interna, y desde el punto de vista de los tamaños de planta, están en rangos de 0-5 MW y 5-10 MW con porcentajes muy similares (37% y 32%, aproximadamente). Lo anterior da una clara indicación del tamaño de nuestras industrias pues sólo el 10,5% tiene instaladas unidades de más de 20 MW.

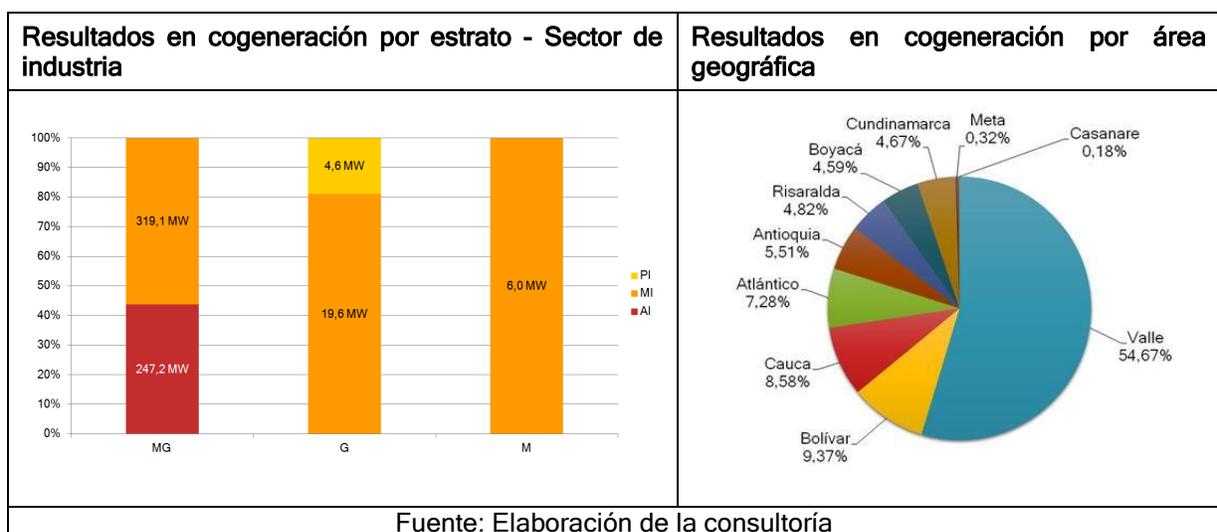


En el sector de petróleos, la autogeneración se encuentra concentrada con un 83% en el área de producción y está relacionada claramente con las regiones (Meta, Casanare y

Santander) reconocidas como productoras o con grandes campos de explotación de crudos.

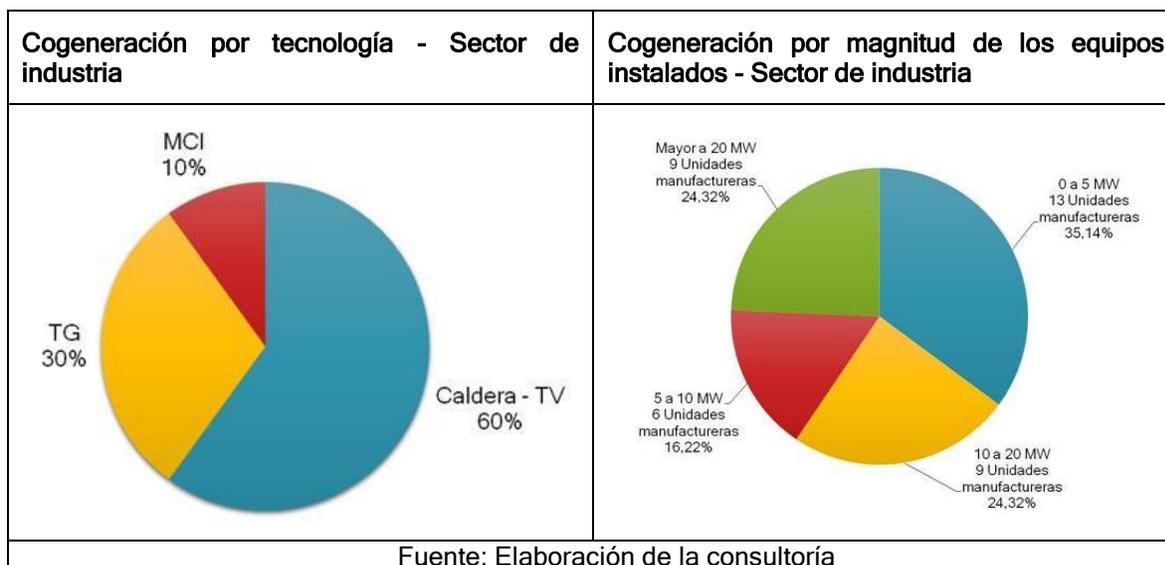


Examinando resultados en cogeneración se tiene que en el sector industria, la mayor capacidad instalada se encuentra en el estrato MG-AI con 247,5 MWe y MG-MI, con 319,1 MW. Nótese que resulta más alto el estrato Intensivo, lo cual se explica que en este estrato se encuentran clasificados los ingenios. Lo anterior está claramente relacionado con los resultados por área geográfica donde el Valle del Cauca tiene casi el 55% de participación. Ver figura siguiente.



Desde el punto de vista de las tecnologías se encuentra que la Turbina de Vapor y la Turbina de Gas toman el 90% de participación en la cogeneración y al igual que en la

autogeneración, el tamaño de las unidades es realmente pequeño, algo más del 24% es superior a 20 MW, como se presenta a continuación.



Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones del estudio:

- El presente estudio pone a disposición de la UPME, y de otras entidades y personas interesadas, resultados confiables sobre el inventario actual (finales de 2014) de la capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en las áreas interconectadas del país, para los sectores petróleo, industrial manufacturero, comercial y público. Estos resultados complementan los esfuerzos que ha venido adelantando la Unidad para: (i) profundizar en el conocimiento de la demanda de energía en Colombia, (ii) enriquecer la base informativa para los propósitos de planeamiento del sector, y (ii) realizar la futura actualización de este inventario, así como para para realizar balances energéticos más precisos.
- La metodología empleada para obtener el inventario actual se basa en un análisis estadístico riguroso (que incluye la investigación del universo de establecimientos de cada sector, el diseño del muestreo con formularios específicos, y la crítica a la información recolectada) que garantiza el mejor aprovechamiento de la información obtenida proveniente de diferentes fuentes como son: (i) encuestas y entrevistas a los establecimientos, (ii) experiencias internacionales, (iii) trabajos recientes de la UPME, (iv) información de agremiaciones de algunos sectores consumidores, (v) autoridades energéticas y ambientales, (vi) registros del operador del mercado mayorista de energía eléctrica, (vii) el DANE, (viii) proveedores de equipos de autogeneración y cogeneración, y (ix) algunas empresas dedicadas a la investigación de mercados.

- Los resultados obtenidos para el inventario son los siguientes:

| Sector | Autogeneración [MW] | Cogeneración [MW] | Emergencia [MW] | Total [MW] |
|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Industria | 234,0 | 596,7 | 136,4 | 967,1 |
| Petróleo | 955,0 | 95,0 | 4,3 | 1054,3 |
| Comercial/Público | 4,1 | 0,0 | 65,0 | 69,1 |
| Total | 1.193,1 | 691,7 | 205,7 | 2.090,5 |

- La capacidad total de autogeneración y cogeneración encontrada en los sectores estudiados representa el 13% de la capacidad total del SIN⁴. Esta cifra es significativa, máxime si se tiene en cuenta que el estudio no cubrió sectores consumidores importantes como la minería del carbón y la producción y distribución de agua potable, que se sabe que poseen capacidades de autogeneración no despreciables.
- Las cifras de autogeneración muestran la gran participación del sector petróleo (con el 80%) seguido de la industria manufacturera (con casi el 20% restante).
- La participación del sector comercial y público en la autogeneración resultó ser casi nula, como era de esperarse. Sin embargo, y con sorpresa, se encuentran capacidades de respaldo importantes en algunos grandes centros comerciales.
- De la información obtenida se infiere una pobre participación de las energías renovables no convencionales en la autogeneración de los sectores estudiados, las cuales alcanzan solo algo más de 9 MW. Sin embargo, esta cifra debe tomarse con reserva ya que el muestreo no estuvo diseñado para estimar este tipo de energías, con lo cual la cifra real podría ser superior.
- El estudio también estima el potencial de autogeneración y cogeneración actual y para los próximos 5 años (2015 a 2019) a partir de dos tipos de información: (i) los planes y programas que algunas empresas y gremios informaron a los consultores en las entrevistas realizadas (p.e., los sectores azucarero, petróleo y palmicultor), y (ii) una estimación econométrica para el sector industrial basada en las expectativas de crecimiento de la producción y de la evolución de los precios de la electricidad en el SIN y de los costos de autogenerar y cogenerar con diferentes combustibles (principalmente gas, carbón y biomasa residual).
- La capacidad no despreciable de respaldo identificada en los sectores petróleo industria, comercio y público de 254,3 MW, cuyos costos de generación son superiores a las tarifas de la red pública en condiciones normales, podrían operar de manera continua y aportar del orden de 6 GWh/día en condiciones críticas del SIN (p. e., en períodos de sequías prolongadas cuando los costos del SIN sean significativamente superiores a los de dichas plantas). A este respecto, la CREG desarrolló el concepto de “Demanda Desconectable Voluntaria” como uno de los anillos de seguridad de la confiabilidad del sistema de generación, pero por desconocimiento (o falta de interés)

⁴ Para la estimación del porcentaje de participación se consideró la capacidad efectiva de generación del SIN reportada por la UPME a diciembre 31 de 2013 (14.585 MW).

de los comercializadores de energía y de los operadores petroleros, no ha tenido ningún desarrollo. De todas formas conviene indicar que la UPME y CREG continúan trabajando en estudiar con mayor profundidad esta alternativa para el sector.

- Las tecnologías y tamaños de planta encontrados en los diferentes establecimientos constituyen un insumo de interés para las definiciones que se deben hacer sobre aspectos regulatorios pendientes de la Ley 1715 de 2014.
- Solo se identificaron excedentes en los procesos de cogeneración del sector industrial. El sector petróleo (que posee autogeneración y cogeneración) declaró no haber vendido excedentes y no estar interesado en hacerlo en el futuro. Y los sectores de comercio y público no reportaron poseer capacidad de autogeneración ni de cogeneración. La capacidad de excedentes de los cogeneradores registrada en XM es del orden de 77 MW.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Como parte de una de las tareas misionales asignadas a la UPME está la elaboración y divulgación del Plan de Expansión de Referencia de Generación y Transmisión siendo el último publicado el correspondiente al periodo 2014-2028. Para este propósito, la UPME establece diferentes escenarios de demanda, los cuales atienden a múltiples variables de la economía nacional y aspectos relacionados con el entorno internacional, en especial las posibles exportaciones de energía eléctrica a los países vecinos.

En este orden de ideas se hace necesario precisar la demanda real de energía eléctrica del lado de los consumidores y que tiene que ver con el balance individual de cada uno de ellos, esto es su demanda y generación propia. Este balance individual es el que normalmente se refleja en las mediciones registradas por los diferentes agentes comercializadores de electricidad y que se consignan en las bases de datos del mercado mayorista para el caso de los usuarios no regulados. En consecuencia, la UPME decidió adelantar un estudio de consultoría que le permitiera tener las más recientes estimaciones de las capacidades instaladas de autogeneración y cogeneración en los sectores de industria, petróleo, comercio y el sector público. Este documento compendia todo el desarrollo del estudio y sus resultados en cuanto al inventario de autogeneración y cogeneración, así como unas estimaciones del potencial y proyecciones para los próximos cinco años.

1.1 ANTECEDENTES

Dado que en la actualidad, se tiene en la agenda de la UPME la implementación de programas para el manejo de la demanda de energía eléctrica y la divulgación de la Ley 1715 de 2014⁵ (que establece incentivos a la implementación de proyectos de eficiencia energética y la inclusión de energías renovables no convencionales) y el

⁵ Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional".

Decreto 2469 de 2014⁶, la UPME consideró necesaria la estimación de un inventario de las capacidades instaladas y proyecciones de crecimiento en las actividades de autogeneración y cogeneración en los sectores de interés.

Previo a la expedición de la Ley 1715 de 2014, la autogeneración y la cogeneración eran manejadas de manera independiente. La Ley 142 de 1994⁷ define que los cogeneradores pueden enajenar la energía que producen, toda o una parte de ella, a una clientela que puede estar compuesta por socios o personas vinculadas económicamente a la empresa (Ley 142, 1994). El autogenerador, en cambio, según la Ley 143 de 1994⁸, no enajena energía, él consume la que produce, razón por la cual sólo utiliza la red pública para obtener respaldo del sistema.

Al revisar las cifras sobre el tema de la autogeneración y cogeneración en el país se tiene un catálogo de estudios de diferentes fuentes, unas de orden gubernamental e institucional como la UPME pero ya elaborados hace más de 10 años y con coberturas parciales de los sectores, y otros de iniciativa privada, como el Inventario de la ANDI cuyas cifras agregadas han sido publicadas este año 2014, pero que son de alcance restringido en la medida que han sido consultadas las industrias que hacen parte activa de dicho gremio.

Dentro de los estudios a nivel nacional, en el año 1996 se determinó que la capacidad instalada en autogeneración era de 41 MWe y en cogeneración de 64 MWe (AENE-UPME, 1996), en el 2013 se estima una potencia instalada de 600 MWe en plantas de cogeneración (ECSIM, 2013) y en el 2014 que el potencial estimado es de 773 MWe (ANDI, 2014), haciendo claridad que aunque todos se refieren al sector industrial, el marco de referencia de sus estimaciones es diferente (aparte del año de las investigaciones), con lo cual las cifras no son del todo comparables.

⁶ El Ministerio de Minas y Energía expidió Decreto número 2469 del 2 de diciembre de 2014, por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.

⁷ Ley 142 de 1994 "Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones".

⁸ Ley 143 de 1994 "Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética".

De otro lado, a la fecha de edición de este informe (finales de 2014), se conoce de la elaboración de un estudio de la CAF - Corporación Andina de Fomento - Banco de Desarrollo de América Latina, dicho informe hace un análisis de las perspectivas de acciones y proyectos de Cogeneración como instrumento para la mitigación del cambio climático en algunos países de América Latina, siendo Colombia unos de los países objetivo. Examinando el contexto de ejecución, se puede comprobar que este estudio también se ha concentrado en el sector de industria, más específicamente, en las industrias que pertenecen a la CGCEG (Cámara de Grandes Consumidores de Energía y Gas).

Finalmente, es necesario aclarar que siempre se ha quedado por fuera de las estimaciones, uno de los sectores que se sabe posee una alta inclusión de autogeneración y cogeneración, como lo es el sector petróleo, que en unos casos por filosofía de operación (confiabilidad) incluye dentro de sus instalaciones sistemas de generación de electricidad y en otros casos, en razón a que los desarrollos de infraestructura se dan en zonas aisladas, donde no se cuenta con acceso al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Los objetivos establecidos por la UPME para la ejecución de esta consultoría, se presentan en las siguientes secciones.

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general de la consultoría es elaborar un inventario actualizado de la capacidad, y las proyecciones de crecimiento, de la autogeneración y cogeneración para los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país.

1.2.2 Objetivos específicos

Como complemento y precisión de la Consultoría, la UPME en los Términos de Referencia (TDR) definió los siguientes objetivos específicos:

- **Objetivo No 1:** Establecer la capacidad instalada actualmente en procesos de autogeneración y cogeneración para los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país.

- **Objetivo No 2:** Identificar y clasificar las tecnologías, energéticos empleados, niveles de consumo de éstos, aspectos financieros y de costos, entre otros; para los procesos de autogeneración y cogeneración en los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país.
- **Objetivo No 3:** Identificar, para los próximos cinco años, los potenciales de crecimiento de los procesos de autogeneración y cogeneración para los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país.
- **Objetivo No 4:** Desarrollar una metodología que permita, de forma periódica, actualizar la información recopilada sobre la capacidad instalada y potenciales de crecimiento, en procesos de autogeneración y cogeneración para los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país.

1.3 ALCANCE ESPECIFICADO POR LA UPME

El alcance de la consultoría establecido por la UPME y que se convierte en el marco de referencia para plantear la metodología de trabajo para este estudio, se presenta a continuación:

- Realizar una revisión específica de los sectores petróleo, industria, comercio y público del país, a partir de los estudios de caracterización de los sectores de consumo en Colombia realizados por la UPME, y otras entidades, para establecer, cuáles establecimientos del universo en dichos sectores, cuentan con alguna capacidad de autogeneración y cogeneración; cuáles tienen posibilidades de desarrollar este tipo de proyectos y en cuáles se puede descartar su implementación.
- Con base en la revisión anterior, y luego de un análisis detallado a nivel estadístico, determinar una muestra representativa de consumidores en dichos sectores y su ubicación geográfica; éstos serán el objeto de estudio del proyecto.
- Proponer una metodología que incluya aspectos como: formatos para la obtención de información, manuales, conformación y capacitación del equipo, plan de visitas, tiempos, entre otros; necesarios para el cumplimiento del objeto contractual.
- Realizar una caracterización y un análisis estadístico riguroso de la información recopilada, de tal forma que se pueda establecer, con un

margen de error aceptable, la capacidad instalada actualmente en procesos de autogeneración y cogeneración en los sectores objeto del estudio y los potenciales de crecimiento de estos procesos en el horizonte 2015 - 2020.

- Proponer una metodología para la actualización periódica de la información relacionada con el objeto contractual e indicadores que permitan ajustar periódicamente su crecimiento.

1.4 DEFINICIÓN DE LOS SECTORES

A continuación se hace una descripción general de las actividades económicas desde la óptica de la Clasificación Internacional Uniforme de las Naciones Unidas y a su vez llegando a la particularidad de los sectores de interés.

1.4.1 Presentación de la clasificación CIIU⁹

La Clasificación Industrial Uniforme de las actividades económicas (CIIU Rev. 4) de la Comisión Estadística de Naciones Unidas publicada en el año 2009, presenta un ordenamiento completo y sistemático de las actividades económicas, dentro de una estructura de clasificación coherente y consistente de dichas actividades basada en normas internacionales de clasificación, diferentes conceptos y definiciones.

El propósito general de esta clasificación industrial consiste en proporcionar un marco general de referencia que facilite hacer análisis económicos y a su vez la formulación y de políticas a nivel de Estado. Cada una de las actividades económicas son definidas a partir de cuatro criterios principales: los insumos empleados, los procesos y la tecnología de producción, las características del producto y por último el uso al que se destinan (DAES, 2009).

Es importante señalar que la Clasificación Industrial Internacional Uniforme, CIIU, no es una clasificación de bienes y servicios. Éste es el criterio por el cual se agrupan con otras unidades para formar industrias. Una industria se define como el conjunto de todas las unidades de producción que se dedican primordialmente a un mismo tipo o tipos similares de actividades económicas productivas.

⁹ Todas las informaciones y textos relacionados con CIIU aquí presentados han sido tomados del documento “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas”, Revisión Adaptada para Colombia, CIIU Rev. 4 A.C., publicada por DANE

Otro aspecto importante para mencionar es que la clasificación CIIU no atiende a ningún régimen de propiedad, tipo de estructura jurídica o la modalidad de explotación, porque estos criterios no guardan relación con las características de la propia actividad; en consecuencia, las unidades productivas que se dedican a la misma actividad económica se clasifican en la misma categoría de la CIIU, con independencia de que pertenezcan a sociedades anónimas, a propietarios individuales o al estado y de que la empresa matriz esté o no integrada por más de un establecimiento.

La Clasificación Industrial Uniforme de las actividades económicas (CIIU Rev.4) fue acogida oficialmente por el DANE en el año 2012 (DANE, 2012)“refleja en su estructura y base conceptual la realidad económica colombiana, partiendo de la versión oficial entregada por Naciones Unidas a la comunidad estadística internacional en el año 2009. La clasificación presenta modificaciones sustanciales en su estructura general y detallada, mediante la generación de nuevas categorías”.

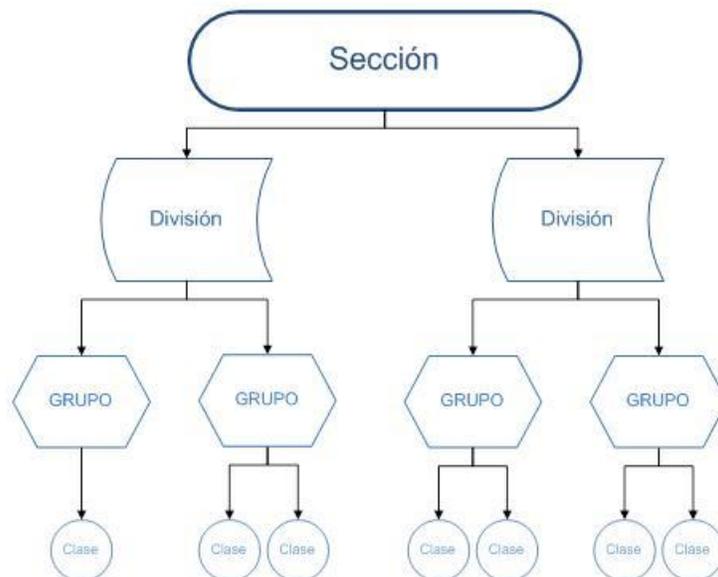
1.4.2 Estructura general y nomenclatura de la clasificación CIIU Rev. 4.

La estructura general de la clasificación de las actividades económicas muestra una estructura jerárquica bajo una notación alfanumérica integrada por cuatro niveles así:

- Sección (código alfabético)
 - División (dos dígitos)
 - Grupo (tres dígitos)
 - Clase (cuatro dígitos)

En la Figura 1 se ilustra la estructura general de la clasificación.

Figura 1: Estructura general de la clasificación CIIU Rev. 4



Fuente: Elaboración de la consultoría

Ahora bien, la Tabla 1, que se presenta a continuación, da cuenta de las diferentes secciones que constituyen en un todo la clasificación de las actividades CIIU Rev.4.

Tabla 1: Clasificación de las actividades CIIU Rev.4

| Sección | Descripción |
|----------|--|
| A | Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca |
| B | Explotación de minas y canteras |
| C | Industria Manufacturera |
| D | Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado |
| E | Distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental |
| F | Construcción |
| G | Comercio al por Mayor y al por Menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas |
| H | Transporte y almacenamiento |
| I | Alojamiento y servicios de comida |
| J | Información y comunicaciones |
| K | Actividades financieras y de seguros |
| L | Actividades inmobiliarias |

| Sección | Descripción |
|----------|--|
| M | Actividades profesionales, científicas y técnicas |
| N | Actividades de servicios administrativos y de apoyo |
| O | Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria |
| P | Educación |
| Q | Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social |
| R | Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación |
| S | Otras actividades de servicios |
| T | Actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares individuales como productores de bienes y servicios para uso propio |
| U | Actividades de organizaciones y entidades extraterritoriales |

Fuente: DANE, 2012

En esta tabla se han resaltado las secciones que están directamente relacionadas con el objeto del estudio y que son justamente: industria (sección C), comercio (sección G), público (sección O). Por su parte el sector petróleo visto desde la óptica de la cadena de producción, transporte y refinación se encuentra disgregado en varias divisiones y grupos dentro de la CIIU Rev. 4 (Ver Tabla 5).

Las secciones siguientes de este capítulo presentan el detalle de las diferentes actividades que conforman cada uno de los sectores que son objeto de esta consultoría.

1.4.3 Definición sector de industria

De acuerdo con las definiciones de la CIIU Rev. 4, la Tabla 2 presenta la estructura de actividades que están contempladas en la sección C.

Tabla 2: Detalle de la sección C - Industria manufacturera

| División | Descripción | Observación |
|----------|---------------------------------------|---|
| 10 | Elaboración de productos alimenticios | Incluye procesamiento de: carnes y de pescados, productos cárnicos Elaboración de aceites y grasas, productos lácteos, molinería, elaboración de productos de café (trilla, tostado, etc.) Elaboración y refinación de azúcar |
| 11 | Elaboración de bebidas | Destilación de bebidas alcohólicas Bebidas fermentadas no destiladas |

| División | Descripción | Observación |
|----------|--|---|
| | | Productos de malta, elaboración de cervezas Bebidas no alcohólicas, aguas minerales y de otras aguas |
| 12 | Elaboración de productos de tabaco | Elaboración de productos de tabaco |
| 13 | Elaboración de textiles | Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles Fabricación de otros productos textiles |
| 14 | Confección de prendas de vestir | Confección de prendas de vestir |
| 15 | Curtido y recurtido de cueros; Fabricación de Calzado; | Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado; |
| 16 | Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho; excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería | Fabricación de hojas de madera para enchapado, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles |
| 17 | Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón | Fabricación de papel, |
| 18 | Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales | Actividades de impresión y actividades de servicios relacionados con la impresión |
| 19 | Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles | Fabricación de productos de la refinación del petróleo |
| 20 | Fabricación de sustancias y productos químicos | Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos Fabricación de fibras sintéticas y artificiales |
| 21 | Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico | Fabricación de productos farmacéuticos |
| 22 | Fabricación de productos de caucho y de plástico | Fabricación de productos de caucho y de plástico |
| 23 | Fabricación de otros productos minerales no metálicos | Fabricación de vidrio y productos de vidrio Fabricación de productos intermedios y finales a partir de minerales no metálicos extraídos de minas o canteras tales como arena, gravilla, piedra o arcilla |
| 24 | Fabricación de productos metalúrgicos básicos | Industrias básicas de hierro y de acero Fundición de metales |
| 25 | Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo | Fabricación de productos metálicos para uso estructural, tanques, depósitos y generadores de vapor Fabricación de armas y municiones |
| 26 | Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos | Fabricación de componentes y tableros electrónicos Fabricación de computadoras y de equipo periférico |
| 27 | Fabricación de aparatos y equipo eléctrico | Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos y de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica |

| División | Descripción | Observación |
|----------|--|--|
| | | Fabricación de hilos y cables eléctricos y de fibra óptica |
| 28 | Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p. | Fabricación de motores, turbinas, y partes para motores de combustión interna Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal |
| 29 | Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques | Fabricación de vehículos automotores y sus motores Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques |
| 30 | Fabricación de otros tipos de equipo de transporte | Construcción de barcos y otras embarcaciones Fabricación de motocicletas |
| 31 | Fabricación de muebles, colchones y somieres | Fabricación de muebles, colchones y somieres |
| 32 | Otras industrias manufactureras | Fabricación de joyas, bisutería y artículos conexos |
| 33 | Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo | Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo |

Fuente: DANE, 2012

1.4.4 Definición sector de comercio

La sección G agrupa todas las actividades relacionadas con el comercio y su detalle es presentado en la Tabla 3.

Tabla 3: Detalle de la sección G - Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas

| División | Descripción | Observación |
|----------|---|--|
| 45 | Comercio, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas, sus partes, piezas y accesorios | Comercio de vehículos automotores Comercio de vehículos automotores nuevos Comercio de vehículos automotores usados Mantenimiento y reparación de vehículos automotores Comercio de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores Comercio, mantenimiento y reparación de motocicletas y de sus partes, piezas y accesorios Comercio de motocicletas y de sus partes, piezas y accesorios Mantenimiento y reparación de motocicletas y de sus partes y piezas |
| 46 | Comercio al por mayor y en comisión o por contrata, excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas | Comercio al por mayor a cambio de una retribución o por contrata Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias; animales vivos Comercio al por mayor de alimentos, bebidas y |

| División | Descripción | Observación |
|----------|-------------|---|
| | | <p>tabaco</p> <p>Comercio al por mayor de productos alimenticios</p> <p>Comercio al por mayor de bebidas y tabaco</p> <p>Comercio al por mayor de artículos y enseres domésticos (incluidas prendas de vestir)</p> <p>Comercio al por mayor de productos textiles, productos confeccionados para uso doméstico</p> <p>Comercio al por mayor de prendas de vestir</p> <p>Comercio al por mayor de calzado</p> <p>Comercio al por mayor de aparatos y equipo de uso doméstico</p> <p>Comercio al por mayor de productos farmacéuticos, medicinales, cosméticos y de tocador</p> <p>Comercio al por mayor de otros utensilios domésticos n.c.p.</p> <p>Comercio al por mayor de maquinaria y equipo</p> <p>Comercio al por mayor de computadores, equipo periférico y programas de informática</p> <p>Comercio al por mayor de equipo, partes y piezas electrónicos y de telecomunicaciones</p> <p>Comercio al por mayor de maquinaria y equipo agropecuarios</p> <p>Comercio al por mayor de otros tipos de maquinaria y equipo n.c.p.</p> <p>Comercio al por mayor especializado de otros productos</p> <p>Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y productos conexos</p> <p>Comercio al por mayor de metales y productos metalíferos</p> <p>Comercio al por mayor de materiales de construcción, artículos de ferretería, pinturas, productos de vidrio, equipo y materiales de fontanería y calefacción</p> <p>Comercio al por mayor de productos químicos básicos, cauchos y plásticos en formas primarias y productos químicos de uso agropecuario</p> <p>Comercio al por mayor de desperdicios, desechos y chatarra</p> <p>Comercio al por mayor de otros productos n.c.p.</p> |

| División | Descripción | Observación |
|----------|--|---|
| | | Comercio al por mayor no especializado |
| 47 | Comercio al por menor (incluso el comercio al por menor de combustibles), excepto el de vehículos automotores y motocicletas | <p>Comercio al por menor en establecimientos no especializados</p> <p>Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos, bebidas o tabaco</p> <p>Comercio al por menor en establecimientos no especializados, con surtido compuesto principalmente por productos diferentes de alimentos (víveres en general), bebidas y tabaco</p> <p>Comercio al por menor de alimentos (víveres en general), bebidas y tabaco, en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de leche, productos lácteos y huevos, en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral), productos cárnicos, pescados y productos de mar, en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de bebidas y productos del tabaco, en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de otros productos alimenticios n.c.p., en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de otros productos en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de prendas de vestir y sus accesorios (incluye artículos de piel) en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de todo tipo de calzado y artículos de cuero y sucedáneos del cuero en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de productos farmacéuticos y medicinales, cosméticos y artículos de tocador en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de otros productos nuevos en establecimientos especializados</p> <p>Comercio al por menor de artículos de segunda mano</p> <p>Comercio al por menor en puestos de venta móviles</p> <p>Comercio al por menor de alimentos, bebidas y tabaco, en puestos de venta móviles</p> |

| División | Descripción | Observación |
|----------|-------------|--|
| | | <p>Comercio al por menor de productos textiles, prendas de vestir y calzado, en puestos de venta móviles</p> <p>Comercio al por menor de otros productos en puestos de venta móviles</p> <p>Comercio al por menor no realizado en establecimientos, puestos de venta o mercados</p> <p>Comercio al por menor realizado a través de internet</p> <p>Comercio al por menor realizado a través de casas de venta o por correo</p> <p>Otros tipos de comercio al por menor no realizado en establecimientos, puestos de venta o mercados</p> |

Fuente: DANE, 2012

1.4.5 Definición sector público

El sector público, en la clasificación CIIU Rev. 4, está delimitado como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Detalle de la sección O - administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria

| División | Descripción | Observación |
|----------|--|--|
| 84 | Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria | <p>Administración del Estado y aplicación de la política económica y social de la comunidad</p> <p>Actividades legislativas de la administración pública</p> <p>Actividades ejecutivas de la administración pública</p> <p>Regulación de las actividades de organismos que prestan servicios de salud, educativos, culturales y otros servicios sociales, excepto servicios de seguridad social</p> <p>Actividades reguladoras y facilitadoras de la actividad económica</p> <p>Actividades de los otros órganos de control</p> <p>Prestación de servicios a la comunidad en general</p> <p>Relaciones exteriores.</p> <p>Actividades de defensa</p> <p>Orden público y actividades de seguridad.</p> <p>Administración de justicia</p> <p>Actividades de planes de seguridad social de afiliación obligatoria</p> |

Fuente: DANE, 2012

1.4.6 Definición sector petróleo

El sector petróleo como tal no tiene una clasificación exclusiva dentro de CIIU Rev. 4; sin embargo, las diferentes etapas dentro de la cadena de producción si están definidas allí como lo son el *Upstream* (exploración y producción), *Midstream* (Transporte) y el *Downstream* (Refinación, distribución y comercialización) como se presenta en la Tabla 5:

Tabla 5: Detalle sector petróleo

| Sección | División | Grupo | Clase | Descripción |
|------------------------------------|----------|-------|-------|--|
| B- Explotación de minas y canteras | 06 | 061 | 0610 | Extracción de petróleo crudo |
| | | 062 | 0620 | Extracción de gas natural |
| | 09 | 091 | 0910 | Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y de gas natural |
| C-Industrias Manufactureras | 19 | 192 | 1921 | Fabricación de productos de la refinación del petróleo |
| | | | 1922 | Actividad de mezcla de combustibles |

Fuente: DANE, 2012

Entendiendo la necesidad de establecer capacidades efectivas de autogeneración y cogeneración en el sector se identifica al transporte de crudos y de gas como un actor no clasificado dentro CIIU ya que si bien los actores de *Upstream* poseen activos de transporte, la mayor participación de este “subsector” es independiente a los ya clasificados. No obstante, para efectos del estudio, se decide atribuir a los establecimientos de las empresas encargadas del transporte la clasificación de la clase 0910 que se menciona en la tabla anterior.

La exploración y prospección esta fuera del alcance del estudio aún cuando grandes capacidades de autogeneración son utilizadas en esta actividad. Siendo estas capacidades de autogeneración esporádicas y temporales, además de ser poco probables de ser despachadas al SIN, son capacidades que no aportan ni al inventario ni al potencial autogeneración y cogeneración.

1.4.7 Definición e inclusión de otros sectores

Considerando, a priori, que el sector de comercio contará con poca capacidad instalada de autogeneración y/o cogeneración y que, de igual manera, su potencial

está enfocado hacia el tema de la fuentes no convencionales de pequeña escala¹⁰, se ha considerado prudente incluir una pequeña muestra de hoteles y hospitales donde se espera que, tanto el inventario como el potencial, pueda ser de mayor escala y benéfico para los propósitos del estudio.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

A continuación se establece un marco de referencia a partir de algunas definiciones claves desde el punto de vista técnico y normativo del sistema eléctrico colombiano.

1.5.1 Términos y definiciones técnicas

A continuación se definen y presentan algunos conceptos básicos desde el punto de vista puramente técnico los cuales son fundamentales para la comprensión del presente informe.

Autogeneración: producción de energía eléctrica para atender total o parcialmente la carga del establecimiento.

Cogeneración: producción simultánea de dos o más tipos de energía, normalmente electricidad y energía térmica (calor o frío), aunque puede ser también energía mecánica (GARCÍA & FRAILE, 2008). Según el orden de producción de energía eléctrica y energía térmica se clasifican en: sistemas superiores y sistemas inferiores

Sistemas Superiores: en inglés *topping-cycle*, son los sistemas de cogeneración más comunes y son aquellos en los que la fuente de energía primaria, es decir el combustible, se utiliza principalmente para la generación de energía eléctrica o energía mecánica como producto principal. Posteriormente dentro del proceso, parte del calor residual contenido en los gases de la combustión es recuperado con el fin de suministrar calor útil a un proceso productivo. Estos sistemas tienen aplicación en industrias de producción de papel, químicos, textiles, cerveza, azúcar, productos agroindustriales y alimentos entre otros.

¹⁰ Se aclara que estos sectores no hacen parte del alcance del estudio, pero el consultor consideró importante hacer esta ampliación del análisis, para tener una mejor cobertura.

Sistemas Inferiores: en inglés *bottoming-cycle* y en este otro sistema la energía primaria se utiliza para la generación de calor útil para ser aprovechado en el proceso manufacturero gracias a la combustión de algún combustible y parte del calor residual de los gases de escape son entonces aprovechados para la generación de energía eléctrica. Los ciclos inferiores menos comunes a los superiores, tienen aplicación en la industria del cemento, la siderúrgica, vidrio, petroquímica y química.

Consumidores puros: establecimientos que no poseen procesos de autogeneración o cogeneración (no autogeneradores-no cogeneradores) y satisfacen la totalidad de su demanda de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional

Equipo suministro eléctrico de emergencia: Equipo cuya función es el suministro de energía eléctrica en un establecimiento al momento de sufrir cortes inesperados en el suministro eléctrico de la red a la que está conectado. Suministra electricidad a otros equipos o sistemas prioritarios (normalmente sin variación de carga), por un número de horas limitado que en condiciones normales está entre 50-100 horas por año. Adicionalmente, los costos variables pueden hacer que los costos por kWh sean significativamente superiores a las tarifas del servicio público.

Equipo suministro eléctrico de respaldo: Equipo cuya función busca atender requerimientos de energía eléctrica durante cortes programados o no programados de electricidad en capacidad de atender capacidades y tiempos mayores a los atendidos por equipos de emergencia. El tiempo de operación anual puede superar las 500 horas. Típicamente los costos variables hacen que se superen las tarifas de la red pública.

1.5.2 Definiciones desde la normativa eléctrica colombiana

La Ley 1715/2014 tiene como objetivo “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la

gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda” (Ley 1715, 2014).

Con tal propósito, dicha Ley establece las siguientes definiciones relativas a la autogeneración y a la cogeneración (Ley 1715, 2014) de interés especial para el presente estudio:

Autogeneración: Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin.

Autogeneración a gran escala: Autogeneración cuya potencia máxima supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero- Energética (UPME)¹¹.

Autogeneración a pequeña escala: Autogeneración cuya potencia máxima no supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

Cogeneración: Producción combinada de energía eléctrica y energía térmica que hace parte integrante de una actividad productiva.

De otra parte, la Ley 1715/ 2014 establece la siguiente definición para la eficiencia energética:

Eficiencia Energética: Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética. Busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. A través de la eficiencia energética, se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables.

¹¹ Este límite será definido en el momento que se reglamente la ley 1715/2014

En relación con fuentes de energía, la Ley 1715/2014 introduce las siguientes definiciones:

Fuentes convencionales de energía: Son aquellos recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país.

Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE): Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCE según lo determine la UPME.

Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER): Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME.

Generación Distribuida (GD): Es la producción de energía eléctrica, cerca de los centros de consumo, conectada a un Sistema de Distribución Local (SDL). La capacidad de la generación distribuida se definirá en función de la capacidad del sistema en donde se va a conectar, según los términos del código de conexión y las demás disposiciones que la CREG defina para tal fin.

Gestión eficiente de la energía: Conjunto de acciones orientadas a asegurar el suministro energético a través de la implementación de medidas de eficiencia energética y respuesta de la demanda.

Respuesta de la demanda: Consiste en cambios en el consumo de energía eléctrica por parte del consumidor, con respecto a un patrón usual de consumo, en respuesta a señales de precios o incentivos diseñados para inducir bajos consumos.

Las normas vigentes (leyes y regulaciones) antes de la expedición de la Ley 1715 de 2014, tratan de manera separada la autogeneración y la cogeneración. En efecto, el Artículo 11 de la Ley 143 de 1994 estableció que un autogenerador es *“Aquel generador que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus*

propias necesidades”, con lo cual no existía la posibilidad, como ahora, de vender sus eventuales excedentes (Ley 143, 1994).

Por su parte, la Ley 1215 de 2008 ¹²(que modificó la Ley 142 de 1994) estableció que: “Quienes produzcan energía eléctrica como resultado de un proceso de cogeneración, entendido éste como la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica que hace parte integrante de su actividad productiva, podrán vender excedentes de electricidad a establecimientos comercializadores de energía, ...”. Adicionalmente la misma Ley de 2008 ordenó a la CREG “determinar los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica para que sean considerados un proceso de cogeneración, la metodología para la remuneración del respaldo que otorga el Sistema Interconectado Nacional a los Cogeneradores, la cual debe reflejar los costos que se causan por este concepto, y los demás aspectos necesarios que considere la CREG” (Ley 1215, 2008).

La Resolución CREG 005 de 2010 ¹³ determinó los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración.

Las definiciones establecidas son:

Cogeneración: Proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de la actividad productiva de quien produce dichas energías, destinadas ambas al consumo propio o de terceros en procesos industriales o comerciales, de acuerdo con lo establecido en la ley 1215 de 2008 y en la presente Resolución.

Cogenerador: Persona natural o jurídica que tiene un proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica como parte integrante de su actividad productiva, que reúne las condiciones y requisitos técnicos para ser considerado como cogeneración. El cogenerador puede o no, ser el propietario de los activos que conforman el sistema de cogeneración; en todo caso el proceso de

¹² Ley 1215 de 2008 "Por la cual se adoptan medidas en materia de generación de energía eléctrica".

¹³ Resolución CREG 005 de 2010 "Por la cual se determinan los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración y se regula esta actividad".

cogeneración deberá ser de quien realice la actividad productiva de la cual hace parte.

Y estableció como requisitos del proceso de producción los siguientes:

Tener un Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE) superior al presentado en la Tabla 6.

Tabla 6: Requisitos cumplimiento REE¹⁴

| Tipo de combustible | REE [%] |
|--|---------|
| Gas natural | 53,5 |
| Carbón | 39,5 |
| Hidrocarburos grados API < 30 | 30,0 |
| Hidrocarburos grados API > 30 | 51,0 |
| Bagazo y demás residuos agrícolas de la caña de azúcar | 20,0 |
| Otros Combustibles de Origen Agrícola | 30,0 |

Fuente: CREG, 2010

Donde,

$$REE = \frac{EE}{EP - \frac{CU}{\eta_{ref\ CU}}} * 100 \text{ [%]}$$

EE : Producción total bruta de energía eléctrica en el proceso, expresado en kWh. Incluye tanto la energía eléctrica usada en el proceso productivo propio como los excedentes entregados a terceros.

EP : Energía primaria del combustible consumido por el proceso, expresado en kWh y calculada empleando el Poder Calorífico Inferior del combustible.

CU : Producción total de Calor Útil del proceso, expresado en kWh.

$\eta_{ref\ CU}$: Eficiencia de referencia para la producción de Calor Útil. Este valor será de 0,9 mientras la CREG no determine otro.

¹⁴ Tomado de la ley Resolución CREG 005 de 2010

- Si produce Energía Eléctrica a partir de Energía Térmica, la Energía Eléctrica producida deberá ser mayor (>) al 5% de la Energía Total generada por el sistema (Térmica + Eléctrica).
- Si produce Energía Térmica a partir de un proceso de generación de Energía Eléctrica, la Energía Térmica producida deberá ser mayor (>) al 15% de la Energía Total generada por el sistema (Térmica + Eléctrica).

Es previsible que estos requisitos (que se convierten en restricciones para el desarrollo de la cogeneración) sean revisados como consecuencia de la expedición de la Ley 1715 de 2014.

La Resolución CREG-005 de 2010 también determinó las reglas para el respaldo del SIN a los cogeneradores, de la siguiente manera.

El literal n) del Artículo 2 establece que cualquier usuario del STR o SDL podrá contratar la disponibilidad de capacidad de respaldo de la red con el OR del sistema al cual se conecta, siempre y cuando exista la posibilidad técnica de ofrecerla y pague por ello.

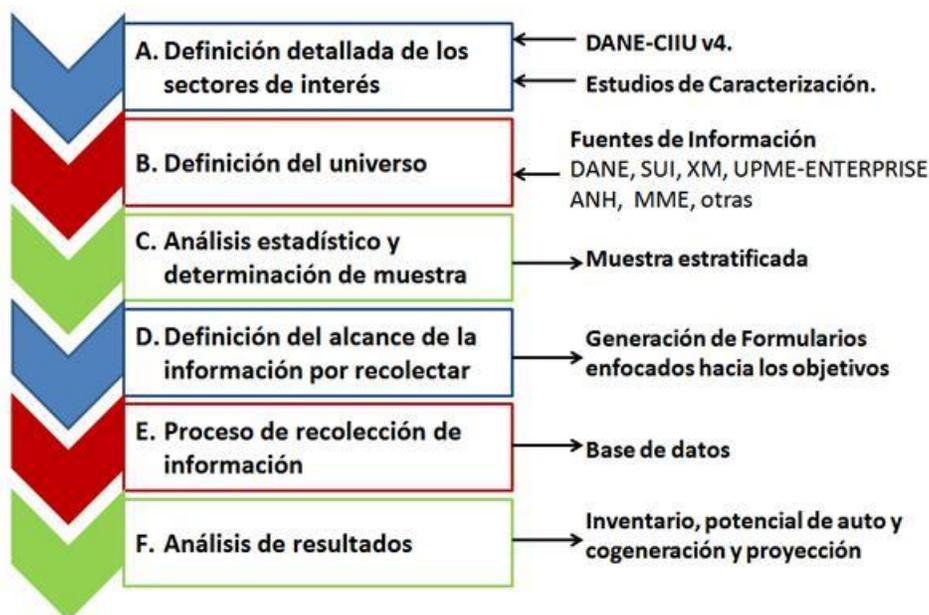
Artículo 14. Cargos por Disponibilidad de Capacidad de Respaldo de la Red. Los Usuarios de los STR o SDL podrán solicitar al OR del sistema al cual se conectan a través de su Comercializador la suscripción de un contrato de disponibilidad de capacidad de respaldo de la red, de acuerdo con lo establecido para el cálculo de los cargos por respaldo en el CAPÍTULO 13 del Anexo General de la misma resolución. El OR deberá otorgar dicha disponibilidad, siempre y cuando tenga la capacidad disponible en su Sistema en el punto de conexión solicitado por el usuario. Los cargos remunerarán las inversiones y los costos de AOM incurridos por el OR para suministrar el respaldo. (CREG, 2010).

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO

A continuación se hace una descripción general de la metodología diseñada y empleada por el Consorcio HART-RE durante la ejecución del estudio. Esta metodología está compuesta por diferentes etapas las cuales se ilustran en la siguiente figura:

Figura 2: Esquema general de la metodología empleada



Fuente: Elaboración de la consultoría

La Figura 2 muestra que la metodología está integrada por seis etapas principalmente. Aunque los sectores del estudio fueron claramente definidos, industria manufacturera, el sector petróleo, comercio y público, la primera etapa (A) tiene dos objetivos: definir de una manera clara y sistemática cada uno de estos sectores empleando definiciones oficiales como la Clasificación Industrial Uniforme de las actividades económicas (CIIU) en su versión 4 que ha sido acogida oficialmente por el DANE en el año 2012 (DANE, 2012). Este análisis fue presentado en detalle en el numeral 1.4 de este informe. Ahora bien, considerando que las variables de interés son la autogeneración y la cogeneración el segundo objetivo de esta primera etapa con igual importancia, es revisar los documentos disponibles en cuanto a estudios anteriores sobre las variables y a su vez sobre

caracterización energética en los sectores (intensidad energética) a nivel nacional (ver Capítulo 3).

La segunda etapa (B) tiene como objetivo definir el universo en cada uno de los sectores de interés; para lograr este objetivo se consultaron diferentes fuentes de información tales como: resultados de la encuesta Anual Manufacturera 2012, desarrollada por el DANE, información contenida en el Sistema Único de Información (SUI)¹⁵, también información de usuarios no regulados registrados de en XM, bases de datos UPME-ENTERPRISE, Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), entre otros. Al respecto se hicieron diferentes ejercicios con cada una de ellas y a modo de conclusión la fuente más adecuada para los propósitos del estudio fue la suministrada por XM.

Con esta información se define el universo del estudio por cada uno de los sectores, se procede a hacer un análisis estadístico de las variables y de este modo determinar la muestra estratificada lo cual se explica detalladamente a partir del numeral 3.2.3, esta etapa corresponde a la etapa 'C' en la Figura 2.

De otro lado y casi de manera paralela a la etapa anterior el Consultor desarrolló la etapa D la cual tiene como objetivo definir el alcance de la información básica requerida para el cumplimiento de los objetivos del estudio. Esto, en otras palabras corresponde al diseño del formulario para cada uno de los sectores, esto con el fin de formular preguntas específicas y concisas enfocadas a determinar la capacidad instalada actual en autogeneración y cogeneración y a su vez el potencial de estas dos variables. La conceptualización de dichos formularios es presentada en el numeral 4.2 de este documento y específicamente cada uno de ellos en el Anexo A de este informe.

Sin ninguna duda la siguiente etapa denominada recolección de información (identificada con la letra 'E') es fundamental ya que sobre ella se edifican todos los análisis y resultados del estudio. Es importante indicar que para lograr una buena recolección de información de calidad en la práctica requirió conformar un equipo de profesionales calificados que hiciera una ardua labor de sensibilización y acompañamiento a los agentes de interés. Todo el proceso de recolección de

¹⁵ Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

información está descrito en el capítulo 4, incluyendo un diagnóstico de la estrategia implementada y comentarios sobre los principales inconvenientes. El producto principal de la etapa de recolección de información es la generación de una base de datos representativa la cual será fundamental en procesos de seguimiento y actualización que decida emprender la UPME en el futuro.

La etapa final dentro de la metodología consiste en hacer los análisis de resultados mediante metodologías estadísticas que permiten determinar el inventario de capacidad instalada en autogeneración y cogeneración en Colombia, su potencial y la proyección en los próximos cinco años. Estos resultados pueden consultarse en los capítulos 5, 6, 7 y 8.

CAPÍTULO 3

3 GENERALIDADES DE LOS SECTORES DE INTERÉS, UNIVERSO Y MUESTRA REPRESENTATIVA

Este capítulo presenta las características de cada uno de los sectores objeto del estudio que permiten sentar las bases del análisis estadístico y las definiciones del universo y de la muestra para cada sector.

3.1 GENERALIDADES DE LOS SECTORES

El objetivo de los siguientes numerales consiste en hacer una descripción rápida y general en cuanto a la disponibilidad de información relacionada directa e indirecta con las dos variables de interés del estudio (autogeneración y cogeneración) para cada uno de los sectores.

3.1.1 Generalidades sector de industria

En materia de estudios a nivel nacional previos sobre autogeneración y cogeneración en la industria, la UPME cuenta por ejemplo con el estudio realizado en el año 1996 que da cuenta de un potencial de cogeneración técnico de 248 MWe y potencial económico de 177 MWe (AENE-UPME, 1996). En el mismo estudio se estableció que en materia de inventario en su momento la capacidad instalada en autogeneración era de 41 MWe y en cogeneración de 64 MWe. Hasta la fecha en materia de inventario esas son las cifras oficialmente conocidas en el sector de industria.

En el estudio “Consultoría sobre la competitividad en la cadena de prestación del servicio de energía eléctrica” (ECSIM, 2013), estima que en el país hay un total de 600 MWe de potencia instalada en plantas de cogeneración, de los cuales 60MWe estaban registrados en el mercado mayorista y por último el potencial estimado por la ANDI¹⁶ en su momento era de 770 MWe aproximadamente. En el mismo estudio se estima que la capacidad total instalada en autogeneración es de 1.100 MWe de los cuales el 75% corresponde al sector petróleo. Por inferencia se deduce que la

¹⁶ Elaborado por la Cámara de Grandes consumidores de Energía y Gas-ANDI 2014

capacidad instalada en autogeneración en el sector de industria sería del orden de 275 MWe.

De otro lado, existen establecimientos del sector de industria con sistemas de cogeneración que participan en el mercado eléctrico colombiano y una vez consultado el sistema de información de XM y UPME¹⁷ la capacidad total de excedentes registrada por parte de estos agentes era de 66,8 MWe.

Por último y en materia de capacidad instalada en autogeneración y cogeneración la ANDI, a través de la Cámara de Grandes Consumidores de Energía y Gas, elaboró un inventario entre sus establecimientos afiliados y cuyos resultados consolidados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Capacidad instalada en cogeneración y autogeneración-ANDI

| | |
|----------------|----------------|
| Cogeneración | 351 MWe |
| Autogeneración | 406 MWe |
| Total | 757 MWe |

Fuente: ANDI, 2014

Ahora bien, la información sobre caracterización energética de los procesos manufactureros es importante para estimar el potencial técnico en materia de autogeneración y cogeneración en el sector de industria. De forma paralela a la ejecución del estudio, se estaba desarrollando por parte de UPME el estudio denominado “Determinación del potencial de reducción del consumo energético en los subsectores manufactureros códigos CIIU 10 a 18 en Colombia”, en el cual se analizaron los procesos y el estado de las tecnologías usadas para comparar con nuevas tendencias internacionales de mayor eficiencia y determinar la brecha tecnológica en el sistema eléctrico y térmico. Adicionalmente, realizó la caracterización y cuantificación del consumo energético estimando la cantidad de energía eléctrica y térmica consumida en un año de producción (INCOMBUSTION, 2014).

¹⁷ Consultado el 25 de agosto de 2014

De lo anterior y al hacer una revisión de la información disponible en cuanto a caracterización por los códigos CIIU Rev. 4 a nivel de grupo en Colombia se cuenta con un estado de desarrollo como se presenta en la Figura 3.

Figura 3: Disponibilidad de información oficial caracterización energética industrial respecto CIIU Rev.4

| División | Códigos CIIU Rev. 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | | | | | | | | | | | |
| Grupo | 101 | 110 | 120 | 131 | 141 | 151 | 161 | 170 | 181 | 191 | 201 | 210 | 221 | 231 | 241 | 251 | 261 | 271 | 281 | 291 | 301 | 311 | 321 | 331 | | | | | | | | | | | |
| | 102 | | | | 142 | 152 | 162 | 182 | 192 | 202 | 222 | | | | 242 | 252 | 262 | 272 | 282 | 292 | 302 | 312 | 322 | 332 | | | | | | | | | | | |
| | 103 | | | | 143 | | 163 | | | 203 | | | | | 243 | | 263 | 273 | 283 | 293 | 303 | | 323 | | | | | | | | | | | | |
| | 104 | | | | | | 164 | | | | | | | | | | 264 | 274 | | | 304 | | 324 | | | | | | | | | | | | |
| | 105 | | | | | | 169 | | | | | | | | | | 265 | 275 | | | | | 325 | | | | | | | | | | | | |
| | 106 | CIIU CARACTERIZADOS | | | | | | | | CIIU EN PROCESO DE CARACTERIZACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | 266 | | | | | | | | | | |
| | 107 | CIIU CARACTERIZADOS | | | | | | | | CIIU EN PROCESO DE CARACTERIZACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | 267 | | | | | | | | | | |
| | 108 | CIIU CARACTERIZADOS | | | | | | | | CIIU EN PROCESO DE CARACTERIZACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | 268 | | | | | | | | | | |
| | 109 | | | 139 | | | | | | | | | | | 239 | | 259 | | 279 | | | 309 | | 329 | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Nota: En la imagen el código grupo 192 se resalta en rojo por pertenecer a la refinación de petróleo quedando excluido del sector de industria

Sin duda los estudios de caracterización de las diferentes actividades manufactureras a nivel local arrojan información relevante para el objeto del presente estudio, como por ejemplo indicadores en el uso de la energía¹⁸, los cuales al compararse permiten identificar procesos que demandan mayor cantidad de energía que otros. Infortunadamente no se contaba con pleno cubrimiento en materia de caracterización energética de todos los CIIU Rev.4 (ver Figura 3) a nivel oficial, por lo tanto, el consultor acudió a investigar diferentes fuentes internacionales que establecieran una relación de la intensidad energética y las actividades económicas CIIU Rev. 4, entre la cuales se examinó la desarrollada por UNIDO¹⁹.

¹⁸ No hace referencia únicamente a la energía eléctrica

¹⁹ UNIDO: United National Industrial Development Organizations también conocida como la agencia especializada de las Naciones Unidas para promover el desarrollo industrial para disminuir la

En resumen UNIDO posee y administra una gran base de información estadística industrial a nivel internacional la cual contiene información detallada de diferentes actividades económicas alimentada a partir de encuestas industriales o mediante censos periódicos hechos por las agencias nacionales de estadística de cada uno de los países, quienes suministran dicha información a esta reconocida organización. UNIDO con un equipo de especialistas estadísticos procesa esa información y establece algunos indicadores importantes. Uno de sus resultados más importantes es generar una clasificación lo mayormente agregada posible considerando la Clasificación Industrial Uniforme de las actividades económicas que permite ligar de manera indicativa con respecto la intensidad energética característica de esas actividades (UPADHYAYA, 2011).

La Tabla 8 permite conocer a nivel de división CIIU Rev. 3²⁰ (dos dígitos) actividades económicas altamente intensivos (AI) en el uso de energía, medianamente intensivos (MI) y poco intensivos (PI).

Tabla 8: Clasificación UNIDO de sectores industriales a partir de la Intensidad de consumo de energía

| Uso de energía | CIIU | | Descripción |
|------------------------|-------|--------|---|
| | Rev3. | Rev. 4 | |
| Altamente intensivo | 17 | 13 | Manufactura de textiles |
| | 21 | 17 | Papel y productos de papel |
| | 23 | 19 | Coque y productos refinación de petróleo |
| | 24 | 20 | Productos Químicos |
| | 26 | 23 | Productos Minerales no metálicos |
| | 27 | 24 | Manufactura de metales básicos |
| Medianamente intensivo | 15 | 10 | Productos alimentos y bebidas |
| | | 11 | Productos alimentos y bebidas |
| | 18 | 14 | Confexión, Tinturado prendas de vestir |
| | 19 | 15 | Manufactura de productos cuero |
| | 20 | 16 | Madera y productos de madera |
| | 22 | 18 | Impresión y publicaciones |
| | 24 | 22 | Productos de Plastico y caucho |
| | 28 | 25 | Productos fabricación de metales |
| Poco Intensivo | 16 | 12 | Productos de tabaco |
| | 29 | 28 | Maquinaria y equipo N.C.P |
| | 30 | 26 | Fab maquinaria de oficina, contabilidad y computo |
| | 31 | 27 | Maquinaria eléctrica y aparatos N.C.P |
| | 32 | 26 | Equipos de radio, tv y comunicaciones |
| | 33 | 26 | Instrumentos médicos, de precisión y ópticos |
| | 34 | 29 | Vehículos, remolques y semiremolques |
| | 35 | 30 | Fab de otros equipos de transporte |
| | 36 | 31 | Manufactura de Muebles y otros N.C.P |
| | 37 | 37 | Reciclaje (Sección E) |

Fuente: UPADHYAYA, 2011 y elaboración de la consultoría

pobreza, lograr una globalización inclusiva y la sostenibilidad ambiental de las actividades productivas”

²⁰ Aunque la fuente (UPADHYAYA, 2011) emplea CIIU Rev. 3 el Consultor hace el ajuste y correspondencia a CIIU Rev. 4

Nótese que la tabla anterior muestra tres colores: rojo, naranja y amarillo lo cual tiene como objeto permitir al lector establecer rápidamente una relación con el grado de intensidad energética así:

- Rojo-Alta intensidad en uso de energía
- Naranja-Mediana intensidad en uso de energía
- Amarillo-Baja intensidad en uso de energía

De este modo se conforma y se define entonces un terreno interesante con diferentes matices para el sector de industria como el que se presenta a continuación:

Figura 4: Sector de industria CIIU Rev.4-Intensidad energética

| División | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|--|---|--------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | Productos alimenticios | Elaboración de Bebidas | Elaboración de produc tabaco | Fabricación de productos textiles | Confección de prendas de vestir | Curtido y recutado de cueros, calzado etc | Transformación de madera y fabricación | Fabricación de papel, cartón y prod papel | Actividades de impresión | Coquización, refinación de petróleo | Fab de Sustancias y productos químicos | Fab. Productos farmacéuticos | Fab. Productos de caucho y plástico | Fab. Productos minerales no | Fab. De productos metalúrgicos básicos | Fab. Productos elaborados en metal | Fab de Productos infor, elec y opticos | Fab. Aparatos y equipo eléctrico | Fab. De maquinaria y equipo n. c. p | Fab. Vehiculos automotores, | Fab. Otros equipos de transporte | Fab. De muebles, colchones y somieres | Otras Industrias Manufactureras | Instalación, mto y reparación |
| Grupo | 101 | 110 | 120 | 131 | 141 | 151 | 161 | 170 | 181 | 191 | 201 | 210 | 221 | 231 | 241 | 251 | 261 | 271 | 281 | 291 | 301 | 311 | 321 | 331 |
| | 102 | | | | 142 | 152 | 162 | | 182 | | 202 | | 222 | | 242 | 252 | 262 | 272 | 282 | 292 | 302 | 312 | 322 | 332 |
| | 103 | | | | 143 | | 163 | | | | 203 | | | | 243 | | 263 | 273 | | 293 | 303 | | | 323 |
| | 104 | | | | | | 164 | | | | | | | | | | 264 | 274 | | | 304 | | | 324 |
| | 105 | | | | | | 169 | | | | | | | | | | 265 | 275 | | | | | | 325 |
| | 106 | | | | | | | | | | | | | | | | 266 | | | | | | | |
| | 107 | | | | | | | | | | | | | | | | 267 | | | | | | | |
| | 108 | | | | | | | | | | | | | | | | 268 | | | | | | | |
| | 109 | | | 139 | | | | | | | | | | | 239 | 259 | | 279 | | | 309 | | | 329 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

A partir de lo anterior y por su naturaleza en cuanto a intensidad energética comienzan a identificarse intuitivamente actividades manufactureras donde la probabilidad de encontrar sistemas de autogeneración y cogeneración en operación es más alta en unos establecimientos que en otros y en caso de no poseer, la probabilidad de la existencia de un potencial técnico es mayor.

En resumen los códigos CIIU división Rev. 4 altamente Intensivos son: fabricación de productos textiles (13); fabricación del papel, cartón y productos de papel (17); coquización y refinación de petróleo (19); fabricación de sustancias y productos químicos (20), fabricación de productos minerales no metálicos (23) y fabricación de productos metalúrgicos básicos (24).

Siguiendo la misma línea los CIIU división Rev. 4 medianamente intensivos son entonces: elaboración de productos alimenticios (10) donde se debe destacar de entrada y no perder de vista a los ingenios azucareros grupo; elaboración de bebidas (11); confección de prendas de vestir (14); curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado, fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y artículos similares, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería, adobo y teñido de pieles (15), transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería (16), actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales (18), fabricación de productos de caucho y de plástico (22) y fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (25)

Los CIIU división Rev.4 con intensidad baja en el uso de energía son: elaboración de productos de tabaco (12), fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (26), fabricación de maquinaria y equipo n.c.p²¹ (28), fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques (29), fabricación de otros tipos de equipo de transporte (30), y la fabricación de muebles, colchones y somieres (31).

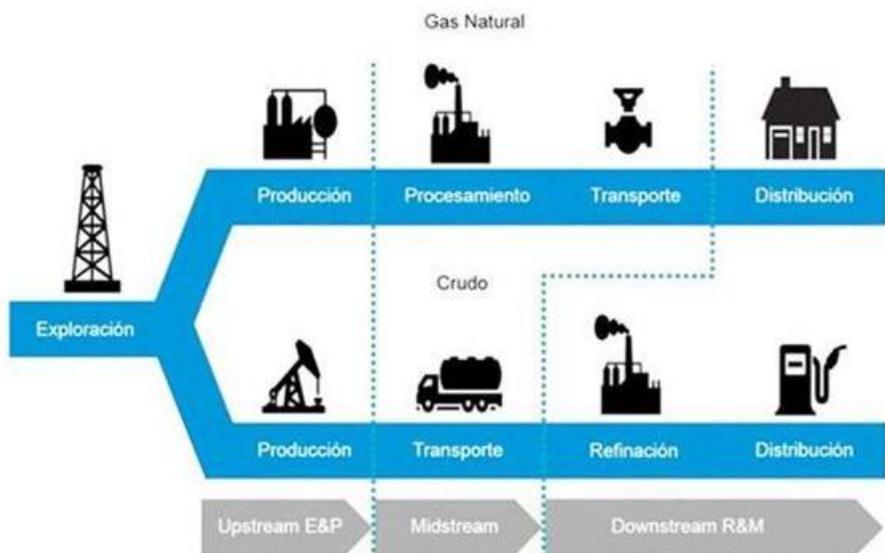
Por último los códigos CIIU división Rev.4 por fuera de la clasificación anterior obedecen a esa condición por no tener entonces una intensidad energética relevante, los cuales son: fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico (21), fabricación de aparatos y equipo eléctrico (27), otras industrias manufactureras (32) la cual incluye la elaboración de joyas, instrumentos musicales, juguetes etc. y por último la instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo. Aunque este grupo aparentemente no tiene una intensidad energética de interés, fueron incluidos dentro de todos los procesos y análisis del estudio.

3.1.2 Generalidades del sector de petróleo

En el sector de petróleo se han identificado (3) tres grandes áreas que conforman la cadena productiva de este sector. En consecuencia, la cadena productiva del sector se puede definir conforme se presenta en la Figura 5.

²¹ n.c.p: no clasificado previamente

Figura 5: Cadena de producción - Sector de petróleo



Fuente: Petrostrategies, 2014

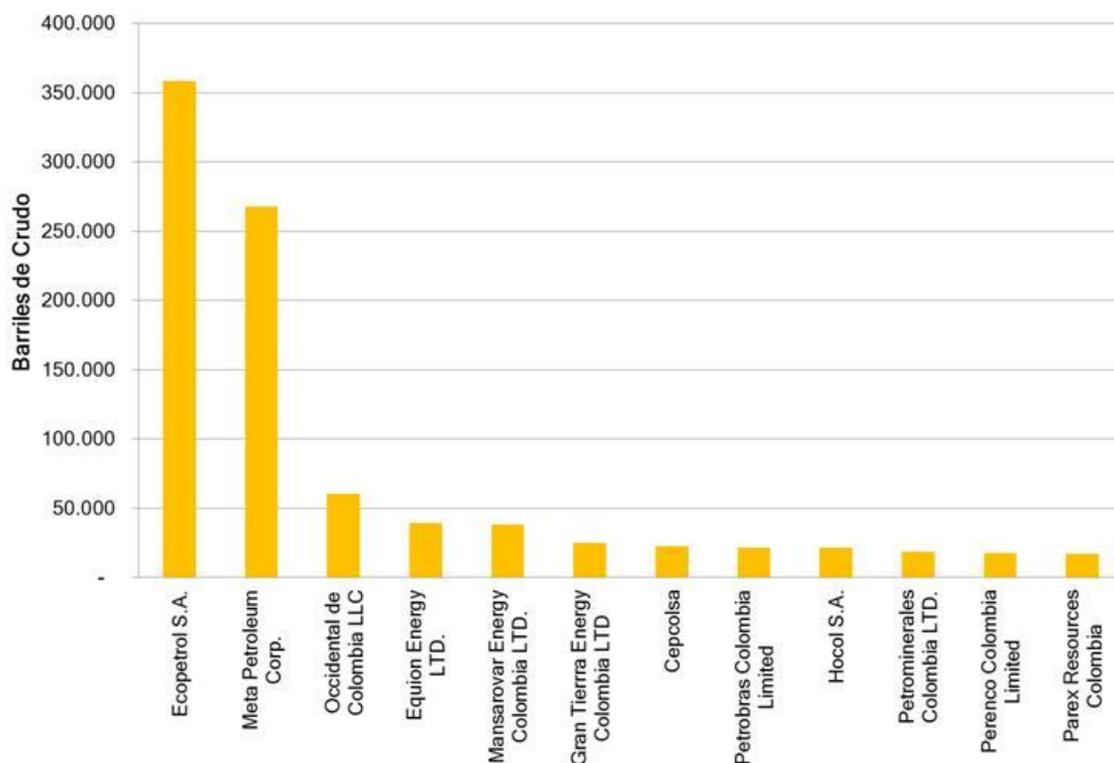
- **“Upstream” - Producción**, comprende todas las actividades de exploración y explotación de los pozos y campos petroleros incluidos las líneas de flujo que permiten transportar el crudo hasta las facilidades de tratamiento.
- **“Midstream” - Transporte**, lo conforman los diferentes oleoductos y poliductos de la red de transporte de hidrocarburos del país.
- **“Downstream” - Refinación**, hace relación con la actividad de procesamiento del crudo (refinación y petroquímica).

3.1.2.1 *Upstream* - Producción

El comportamiento de la producción de hidrocarburos convencionales (crudo y gas) está sujeto a aspectos coyunturales propios de la dinámica del sector. El reto que implica lograr hallazgos de hidrocarburos, con sus riesgos y costos asociados, ha forzado a la industria al desarrollo y uso de nuevas tecnologías para los diferentes procesos involucrados, lo que aplica también a la búsqueda de confiabilidad y eficiencia en los mismos para el logro de los objetivos.

Para efectos del análisis de la producción de crudo del país, se tomó como base para elaboración de las figuras, las Estadísticas Oficiales del estudio la producción total del año 2013²² y para el gas, las mismas estadísticas pero promedio día mes de enero a marzo de 2013, que son para ambos casos, las más actualizadas que se encontraron. Con base en lo anterior, se efectúa un análisis de las respectivas Figuras, a continuación:

Figura 6: Producción nacional de crudo por establecimientos - 2013



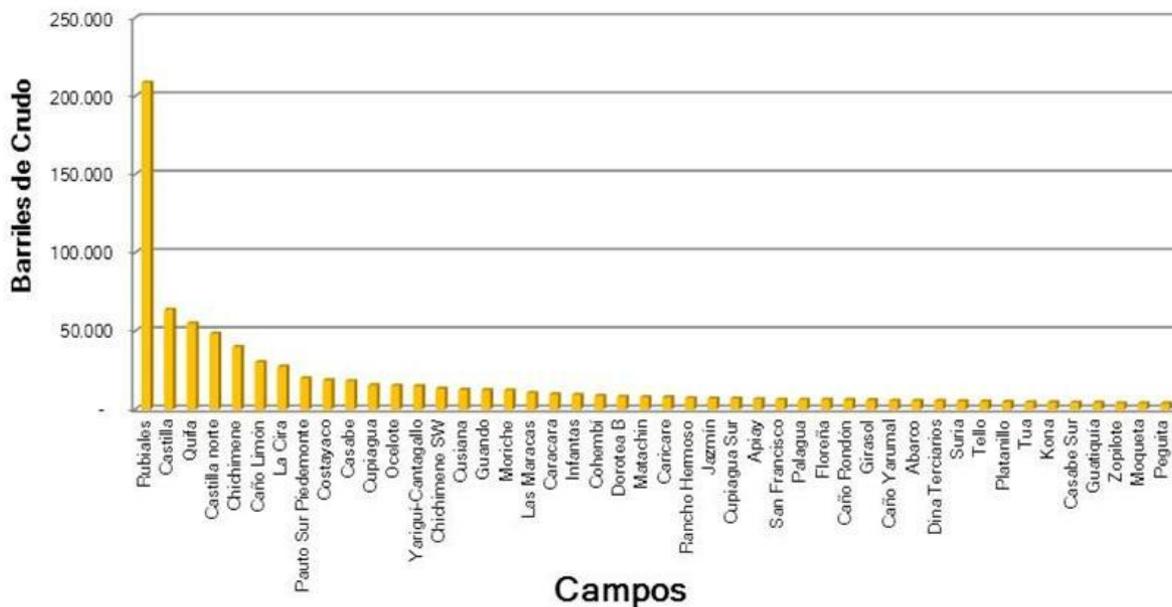
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La Figura 6 muestra la participación de los diferentes operadores en la producción de crudo en el país y es así como 12 empresas (de 84) produjeron el 90% 906.059 BPD, de un total de 1.008.366 BPD.

Se destaca la producción directa de Ecopetrol S.A. (358.306 BPD) y de Meta Petroleum (267.648), ya que entre las 2 suman el 62.1% del país.

²² Fuente: Ministerio de Minas y Energía

Figura 7: Producción nacional de crudo por campo, año 2013 (90%)

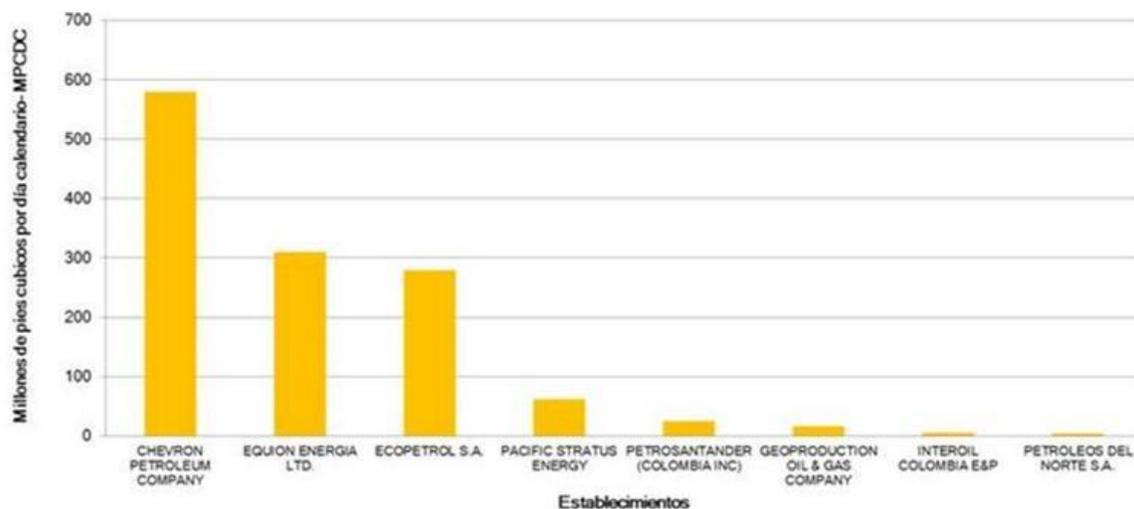


Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La Figura 7, en forma análoga, muestra la participación de los diferentes campos petroleros en la producción de crudo. Se detallan 93 campos de 563 registrados, que producen el 90% del crudo (911.255 BPD), de un total de 1.008.366 BPD.

Se destaca la producción de Campo Rubiales (208.763 BPD), Castilla (63.815 BPD); Quifa (55.031. BPD); Castilla Norte (48.444 BPD); Chichimene (39.899 BPD), Caño Limón (30.213 BPD) y La Cira (27.360 BPD); estos 7 campos representan el 47% de la producción.

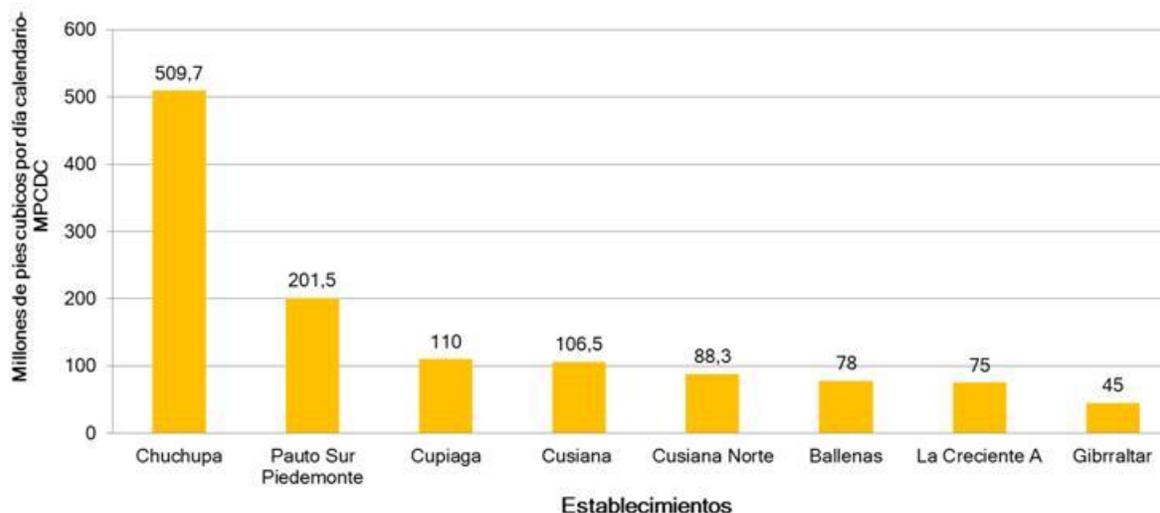
Figura 8: Producción de gas por establecimientos - 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La Figura 8 muestra la producción de gas en millones de pies cúbicos por días calendario (MMPCD), discriminada por establecimientos, con base en los datos promedio día de enero a marzo de 2013, última información oficial disponible en el Ministerio de Minas y Energía. Se observa que Chevron, con 580,2 MMPCD (44,8%), Equion con 310,17 MMPCD (24%), Ecopetrol con 279,15 MMPCD (21,6%), representan entre si el 90,3% de la producción nacional total de 1.295 MMPCD.

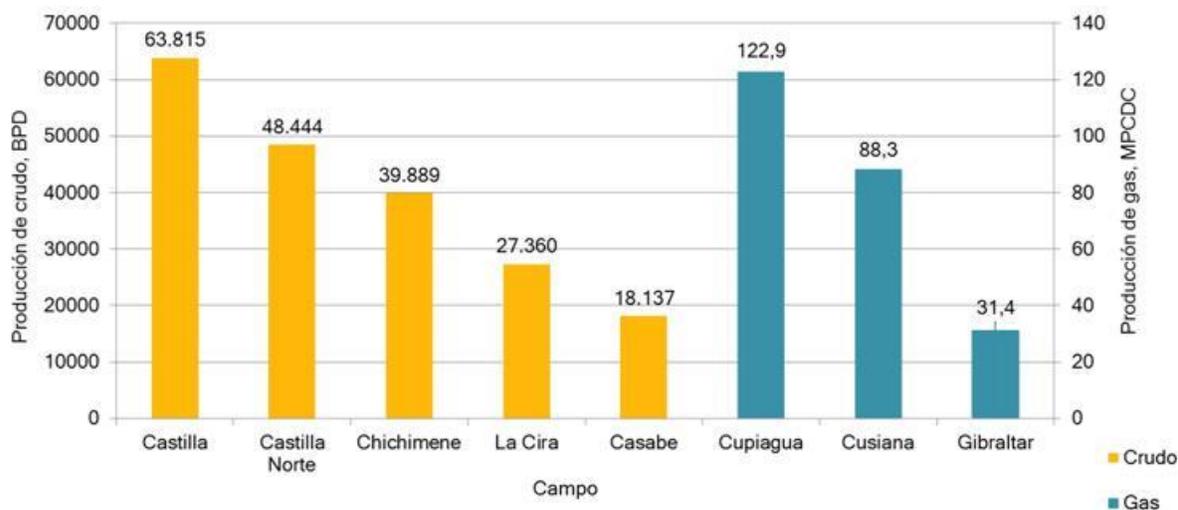
Figura 9: Producción de gas por campo - 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

En la Figura 9 se observa la distribución de la producción de gas por campo en el 2013 (promedio enero - marzo). Se grafican los campos cuya producción equivale al 91,2 % del total nacional, entre los que se destacan Chuchupa, Pauto Sur Piedemonte, Cupiagua, Cusiana y Cusiana Norte; estos 5 campos aportan el 79,4 % de la producción nacional.

Figura 10: Campos de mayor producción en Ecopetrol, 2013



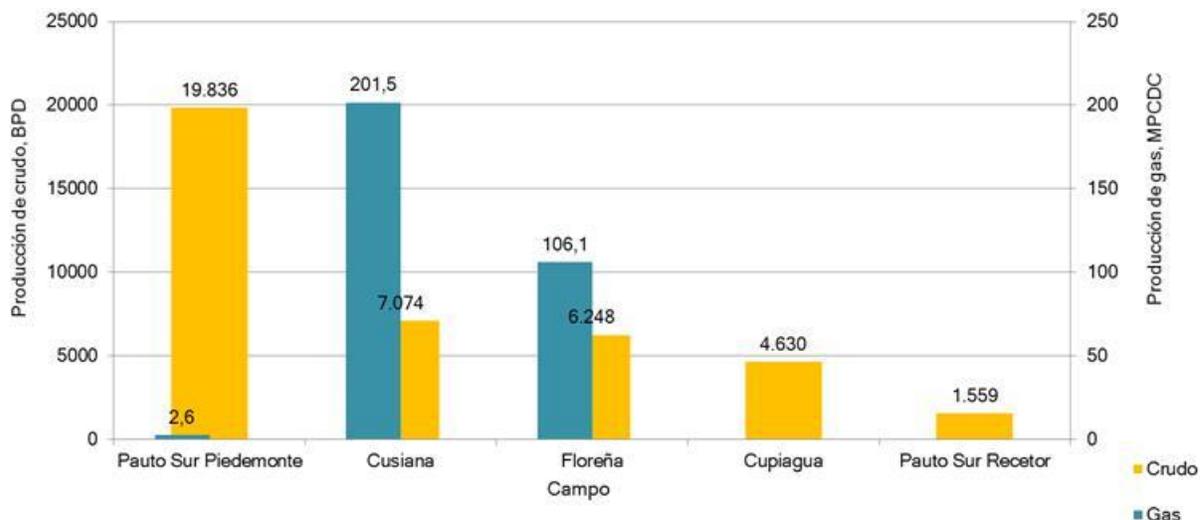
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Ecopetrol tuvo durante el 2013, una producción directa promedio de crudo de 358.306 BPD y de gas de 279,15 MMPCD.

En la Figura 10 se muestra los principales campos de la empresa. En cuanto al crudo se destacan Castilla con 63.815 BPD, (17.8%), Castilla Norte con 48.344 BPD, (13.5%), Chichimene con 38.889 BPD (11.1%); La Cira con 27.360 BPD, (7.6%) y Casabe con 18.137 BPD, (5.1%). Estos campos representan el 52.2 % de la producción de crudo de ese establecimiento.

En cuanto al gas, se muestran los campos de Cupiagua con 122,9 MMPCD, (44.0%); Cusiana con 88,3 % MMPCD (31,6%) y Gibraltar con 31,4 MMPCD, (11.3%). Estos campos representan el 86,9% de la producción de gas de Ecopetrol.

Figura 11: Campos de mayor producción en Equion Energía Ltda, 2013



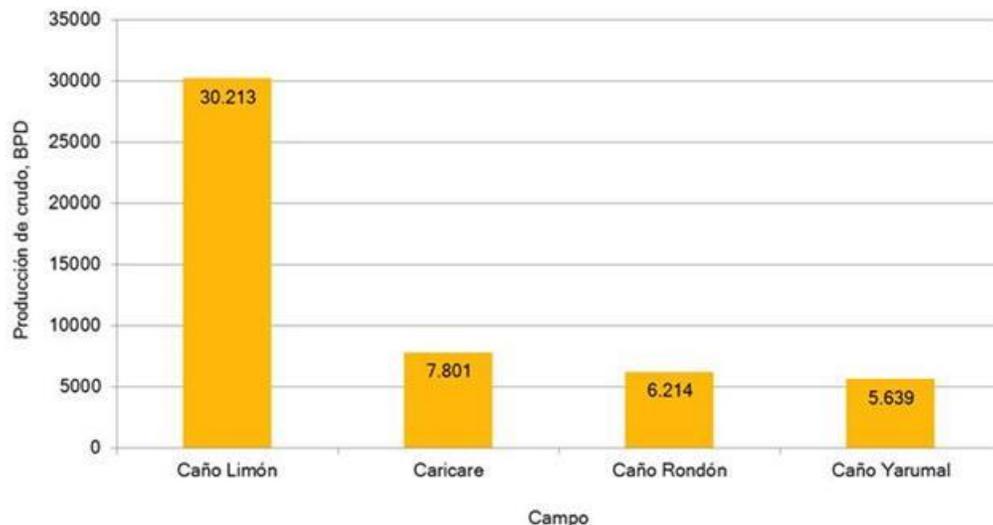
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Equion Energía tuvo durante el año 2013 una producción de crudo de 66.214 BPD y de gas de 310,2 MMPCD.

En la Figura 11 se observan los principales campos, en la que se aprecia que la producción de crudo es modesta y sus campos aportan al total así: Pauto Sur Piedemonte con 19.836 BPD, (50,3%); Cusiana con 7.073 BPD (17,9%); Floreña con 6.248 (15,8%) y Cupiagua con 4.629 (11,7%); estos campos aportan el 95,9% de la producción total de crudo.

La verdadera importancia de Equion Energía radica en la producción de gas, cuyos principales campos se desempeñan así: Cusiana con 201,5 MMPCD (65%); Floreña con 106 MMPCD (34,2%) y Pauto con 2,6 MMPCD (0,8%).

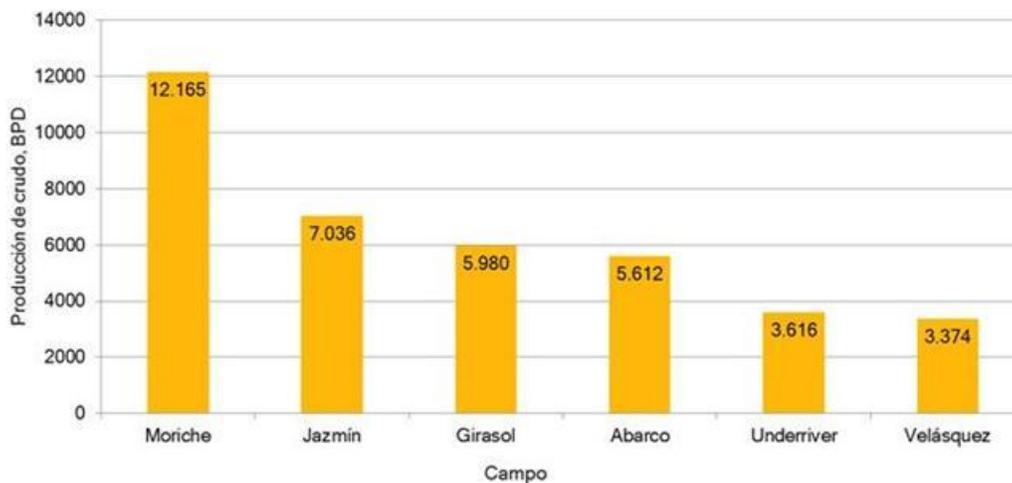
Figura 12: Campos de mayor producción en Occidental de Colombia, 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Occidental de Colombia tuvo una producción promedio de crudo de 60.178.1 BPD. Sus principales campos productores en el periodo bajo estudio (2013) fueron Cañón Limón con 30.213 (50,2%), Caricare con 7.801 BPD (12,9%), Caño Rondón con 6.214 (10,3%) y Caño Yarumal con 5.639 BPD (9,4%). Estos 4 campos representan el 82.9 % de la producción de Occidental. No existe para esta empresa una producción relevante de gas.

Figura 13: Campos de mayor producción en Mansarovar Energy Colombia Ltd., 2013

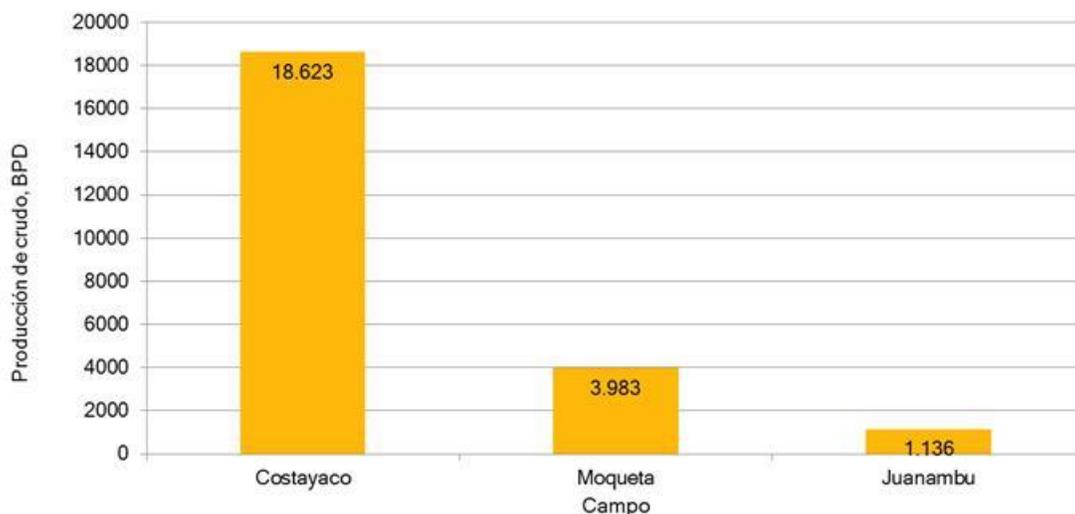


Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Mansarovar Energy presenta una producción promedio de crudo de 38.173 BPD. Su producción está basada principalmente en procesos EOR (Enhanced Oil Recovery), mediante inyección de vapor de agua al yacimiento. No presenta producción relevante de gas. Sus principales campos de producción de crudo son; Moriche con 12.165 BPD (31,8%), Jazmín con 7.036 BPD (18,4%), Girasol con 5.980 BPD (15,7%), Abarco con 5.612 BPD (14,7%), Underriver con 3.615 BPD (9,5%) y Velásquez con 3.375 BPD (8,8%)

Gran Tierra Energy presentó una producción promedio día de 24.771 BPD durante el año 2013; no se registra producción relevante de gas. Sus principales campos se ubican en el departamento del Putumayo y su producción tuvo el siguiente desempeño: Costayaco con 18.623 BPD (75,2%), Moqueta con 3.983 BPD (16%) y Juanambu con 1.136 BPD (4,6%). Estos 3 campos representan el 95,8% de la producción de crudo de la empresa.

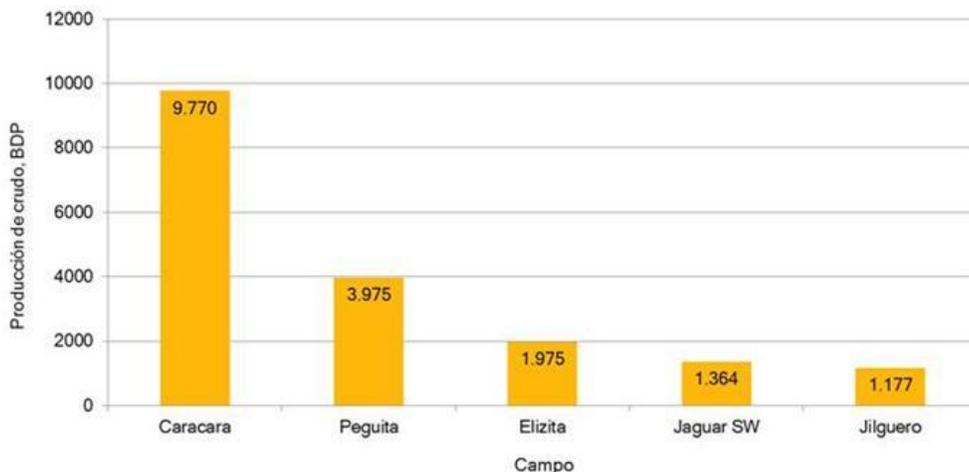
Figura 14: Campos de mayor producción en Gran Tierra Energy Colombia Ltda, 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

El desempeño de la producción de Cepcolsa, registró 22.227 BPD promedio durante el año 2013. En la Figura 15 se muestran cinco (5) de sus principales campos a saber: Caracara con 9.770 BPD (44 %), Peguita con 3.975 BPD (18 %), Elizita con 1.975 BPD (8,9%), Jaguar SW con 1.364 BPD (6 %) y Jilguero con 1.77 BPD (5,3%). La producción de estos campos representa el 82,1% del total de Cepcolsa. No se registra producción relevante de gas.

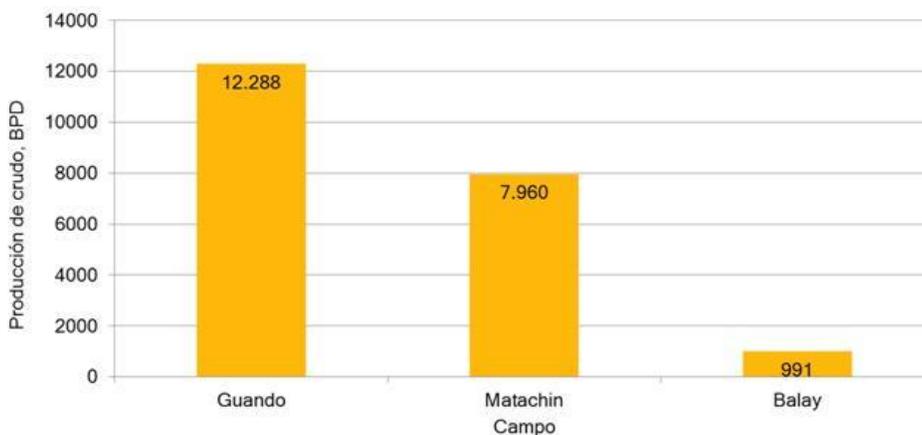
Figura 15: Campos de mayor producción en Cepsa Colombia S.A., 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Aunque en la estadística oficial de 2013 aparece Petrobras como propietario de algunos activos mencionados en la Figura 16, hay que aclarar que posteriormente se produjo una negociación en la que la mayoría de estos activos pasaron a manos de la empresa Perenco Colombia Ltd. Efectuada la anterior aclaración, la estadística muestra que Petrobras tuvo una producción promedio de 21.310 BPD durante el 2013 y sus principales campos son: Guando con 12.288 BPD (57,7%), Matachín con 7.960 BPD (37,3%) y Balay con 991 BPD (4,6%). La producción de estos 3 campos representa el 99,7% de la producción total de la empresa. No se registra producción relevante de gas.

Figura 16: Campos de mayor producción en Petrobras Colombia Limited, 2013



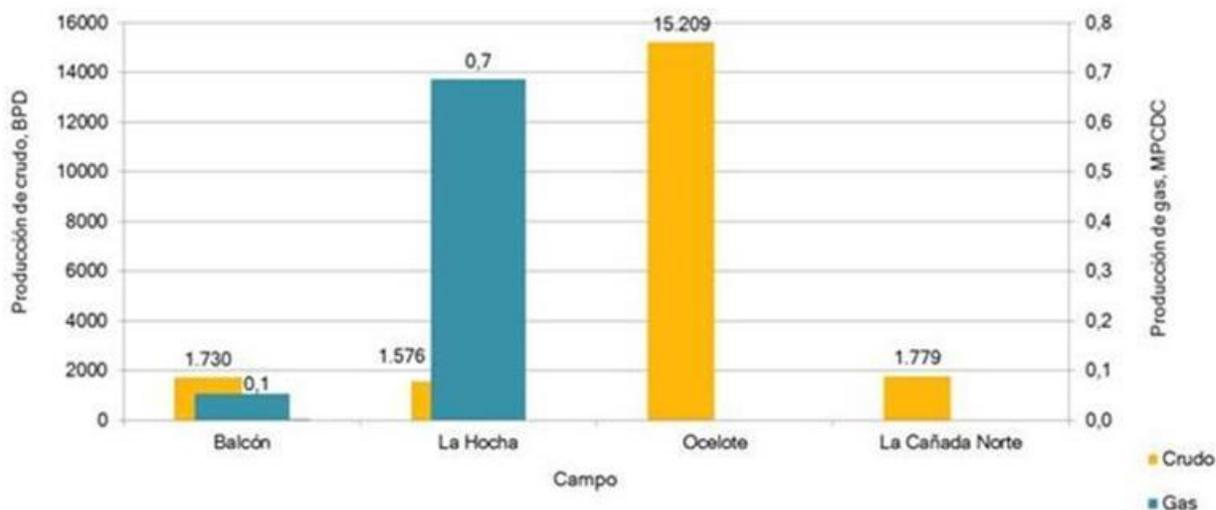
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Hocol hace parte en la actualidad del Grupo Empresarial de Ecopetrol S.A; no obstante, se le ha manejado como una unidad de negocio independiente.

La producción promedio día de Hocol durante el año 2013 fue de 21.233.3 BPD de crudo y 0,8 MMPCD de gas. El comportamiento de sus campos se muestra en la Figura 17 y se resume así: Ocelote con 15.209 BPD (71,6%), La Cañada Norte con 1.779 BPD (8,4%), Balcón con 1.730 BPD (8,1%) y la Hocha con 1.576 BPD (7,4%); por tanto estos campos representan en crudo, el 95,6% del total de la producción.

En cuanto a gas se refiere, La Hocha muestra una producción de 0,7 MMPCD y Balcón de 0,1 MMPCD, lo que representa el total de la producción de gas (100%)

Figura 17: Campos de mayor producción en Hocol, 2013



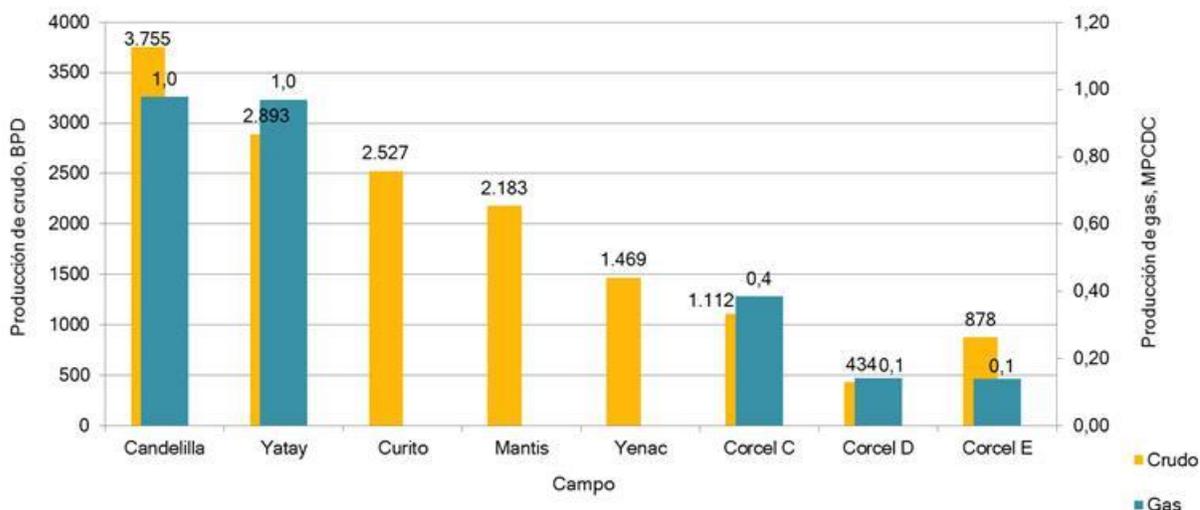
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Petrominerales es una empresa que en la actualidad hace parte el grupo Pacific. Su producción promedio de crudo en el año 2013 fue de 18.398 BPD y la de gas de 2,7 MMPCD.

Los campos de mayor relevancia en producción de crudo son Candelilla con 3.755 BPD (20,4%), Yata con 2.839 BPD (15,7%), Curito con 2.527 BPD (13,7%), Mantis con 2.183 BPD (11,8%), Yenac con 1.469 (8%), Corcel C con 1.112 BPD (6%), Corcel E con 878 BPD (4,8%) y Corcel D con 434 BPD (2,4%); la producción de estos campos asciende al 83% del total.

En cuanto a gas se refiere, los principales campos son: Candelilla y Yatay con 1 MMPCD cada uno (14,3%) y Coral D y E con 0,1 MMPCD cada uno (10,4%). Estos campos producen por tanto el 96,9% del total de gas de la empresa. Ver Figura 18.

Figura 18: Campos de mayor producción en Petrominerales, 2013



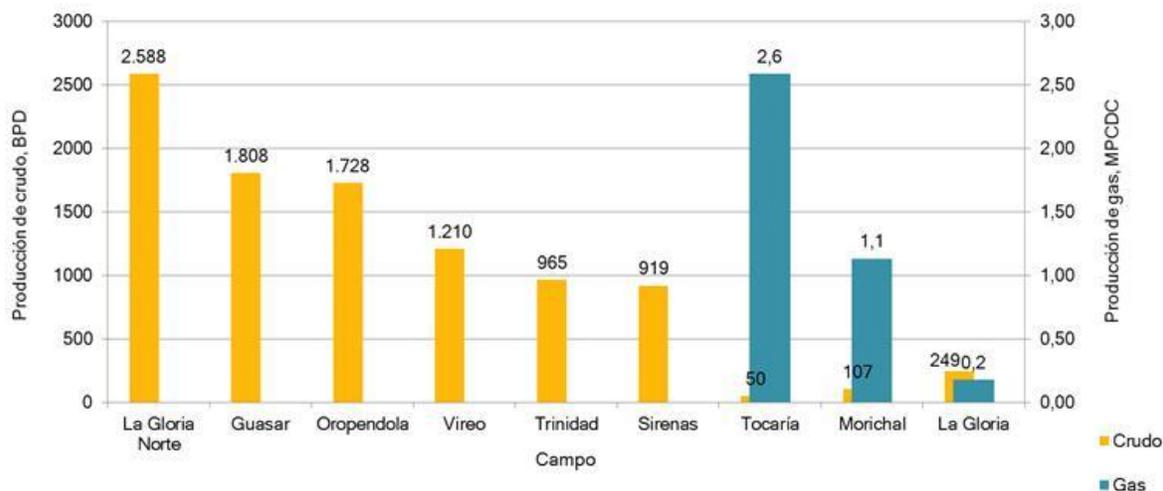
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La empresa Perenco, presentó una producción promedio para el año 2013 de 17.556 BPD de crudo y 3,9 MMPCD de gas.

Los principales campos de producción de crudo tuvieron el siguiente desempeño: La Gloria Norte con 2.588 BPD (14,7%), Guasar con 1.808 BPD (10,3%), Oropéndola con 1.728 BPD (9,8%), Vireo con 1.210 BPD (6,9%). Trinidad con 965 BPD (5,5%) y Sirenas con 919 BPD (5,2%). Estos seis (6) campos por tanto poseen el 52,5% de la producción de crudo de la empresa.

En lo que se refiere a la producción de gas, existen tres campos con el siguiente comportamiento: Tocaría con 2,6 MMPCD (66,3%), Morichal con 1,13 MMPCD (29,1%) y La Gloria con 0,18 MMPCD (4,6%), lo que representa el 100% de gas.

Figura 19: Campos de producción en Perenco, 2013



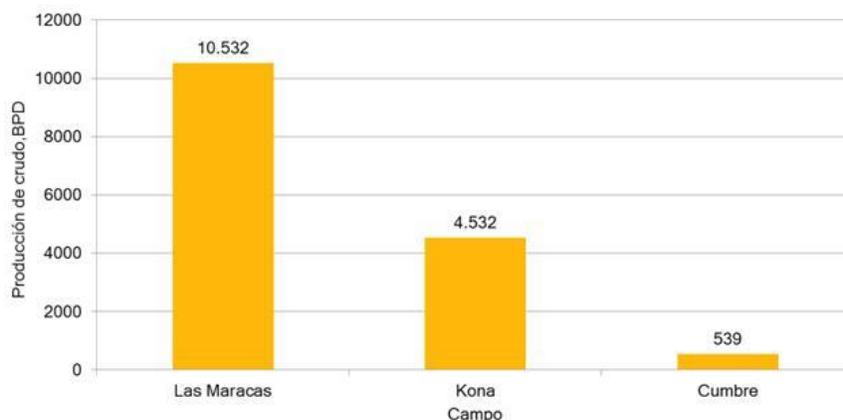
Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

Continuando con la empresa Parex Resources Colombia, ésta registro una producción promedio de crudo de 16.844 BPD y una producción marginal de gas de 0,14 MMPCD.

Los principales campos de producción de crudo son: Las Maracas con 10.532 BPD (62,5%), Kona con 4.531 BPD (26,9%) y Cumbre con 538 BPD (3,2%), por lo que estos tres campos representan el 92,6% de la producción total de crudo.

La producción de gas se encuentra en el campo Kona con 0,14 MMPCD que representa el 100% del gas.

Figura 20: Campos de mayor producción en Parex, 2013

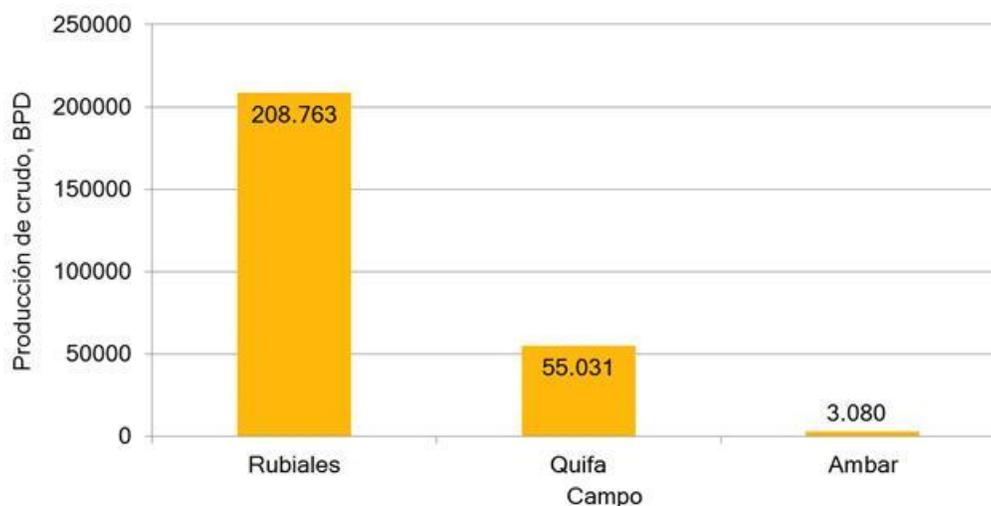


Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La empresa Metra Petroleum (Grupo Pacific Rubiales) es una gran productora de crudo (con algunos campos en Asociación con Ecopetrol), que presentó una producción promedio de crudo de 267.648 BPD durante el año 2.013.

Los principales campos productores son: Rubiales con 208.763 BPD (78%), Quifa con 55.031 BPD (20,6%) y Ambar con 3.080 BPD (1,2%); estos tres campos representan el 99,8% de la producción total de crudo de la empresa. Se hace la acotación de que Campo Rubiales revertirá a Ecopetrol en dos años aproximadamente.

Figura 21: Campos de mayor producción en Meta Petroleum, 2013



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

De los análisis se desprende que la apertura de la industria con la creación de la ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos) en el año 2002, hizo que muchas compañías nacionales y extranjeras iniciaran su operación en Colombia y es así como a finales el año 2013 se registraron oficialmente en el país 424 campos, operados por 53 establecimientos²³, con una producción promedio día país de 1.008.366 BPD (aunque se registran muchos más campos y compañías, muchos de ellos tienen producción “cero”), en el período bajo estudio, 2013.

Un análisis de Pareto en éste sentido, indicó que el 80% de la producción está concentrada en 48 campos (el 11.3% de la totalidad de campos) o bien, visto de

²³ Fuente: ACP, Asociación Colombiana del Petróleo

otra manera, el 80% de la producción es registrada por siete (7) empresas operadoras (el 14,6% de la totalidad de ellas), lo que da una idea de en dónde están concentradas la mayoría de facilidades, quién aplica más recursos y energía a sus procesos, etc.

Una vez identificado lo anterior, se evidencia la importancia de tener una caracterización energética que permita confrontar la producción de hidrocarburos frente al consumo de energía. En aras de precisar la intensidad energética del sector se considera oportuno emplear información primaria y secundaria como herramienta para disminuir el alto nivel de incertidumbre en las cifras del uso de la energía, propias del sector.

En cuanto a la información secundaria, suministrada por el Ministerio de Minas y Energía (MME) junto con los reportes de XM, se identifican a su vez los 10 establecimientos que consumen mayor energía en Colombia, de las cuales ocho (8) corresponden a compañías petroleras operadoras (Metapetroleum, Occidental, Ecopetrol, Mansarovar, Cepcolsa, Hocol, GranTierra y Petrobras -hoy Perenco-) uno corresponde a refinación (Reficar) y uno al sector petroquímico (Cabot Colombiana S.A.). La Tabla 9 presenta la información de los establecimientos que corresponden de manera exclusiva a la etapa de producción. (Ministerio de Minas y Energía, 2013). Hay igualmente algunas compañías de servicios con muy pequeñas participaciones y que de acuerdo con las prácticas normales de la industria, no son ni autogeneradores ni cogeneradores. Ahora bien, es preciso aclarar que para los propósitos del estudio, la investigación debe efectuarse a cada una de las unidades productivas, puesto que el potencial de autogeneración y cogeneración se estiman de acuerdo con las necesidades particulares de cada una de ellas. Este tema se desarrolla más adelante, cuando se definen las muestras para cada uno de los sectores y se explica el análisis final para el establecimiento del inventario de autogeneración y cogeneración en este sector específico.

Tabla 9: Datos de producción de los establecimientos con mayor participación en el consumo de energía eléctrica.

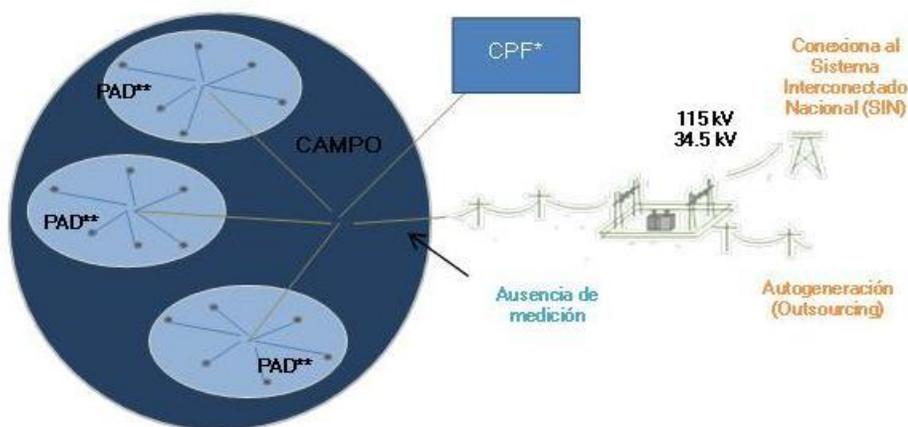
| No. | Empresa | Participación por consumo de energía (%) | Participación por producción (%) |
|-----|---------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Meta Petroleum Ltda | 30,9 | 26,5 |

| No. | Empresa | Participación por consumo de energía (%) | Participación por producción (%) |
|-----|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 2 | Occidental de Colombia - OXY | 29,8 | 5,9 |
| 3 | Ecopetrol | 22,8 | 35,5 |
| 4 | Mansarovar Energy Colombia | 4,6 | 3,7 |
| 5 | Cepcolsa | 3,5 | 2,2 |
| 6 | Hocol | 2,9 | 2,1 |
| 7 | Gran Tierra Energy Colombia Ltda | 1,6 | 2,4 |
| 8 | Petrobras | 1,2 | 2,0 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Figura 22 se puede visualizar el esquema mediante el cual la actividad de producción obtiene la energía para su funcionamiento.

Figura 22: Esquema general de suministro de energía en producción



* CPF por su sigla en inglés, Central Production Facilities o Instalaciones centrales de producción.

**PAD: Hace referencia a la explanada donde se localizan los pozos en un campo (puede haber uno o más pozos en un mismo pad)

Fuente. Elaboración de la consultoría

En general esta etapa de la cadena, obtiene su energía mediante la máxima autogeneración que le sea posible con sus recursos energéticos primarios y de existir algún déficit en éste sentido, es obtenido mediante conexión al SIN a diferentes niveles de tensión, normalmente entre 34,5 kV y 115 kV y

ocasionalmente a 220 kV. El esquema de autogeneración puede ser desarrollado en forma directa por el operador o a través de un tercero.

3.1.2.2 *Midstream* - Transporte

Para el caso del transporte de crudo y productos refinados, el sistema está compuesto fundamentalmente por Estaciones de Bombeo y Líneas de Transporte, en donde el mayor consumo es, justamente, el requerido por la fuerza motriz para operar las bombas elevadoras de presión; dichas estaciones, en general, salvo contadas excepciones, obtienen su energía desde el SIN y tienen equipos electrógenos únicamente para operar subsistemas de emergencia tales como iluminación, sistemas contra incendio, sistemas de instrumentación y control, comunicaciones, etc.

La escasa caracterización sobre el consumo de energía en esta área de la cadena, dirigió al equipo consultor a la búsqueda de información incluso por fuentes secundarias encaminadas a la identificación del potencial de autogeneración en los tres (3) tipos de unidades operacionales de esta etapa, las que se diferencian por el tipo de fluido que transportan, esto es, oleoductos, poliductos y gasoductos.

Los oleoductos más representativos de la red nacional lo conforman las empresas que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Información del sistema nacional de oleoductos del país

| Nombre del Oleoducto | Km | Transporte Estimado (KBPD) |
|--|---------------|----------------------------|
| Oleoducto Caño Limón Coveñas | 760 | 168,0 |
| Ocensa | 789 | 857,9 |
| Oleoducto Colombia (ODC) | 481 | 201,1 |
| Oleoducto de los Llanos Orientales (ODL) | 235 | 340,0 |
| Oleoducto Alto Magdalena (OAM) | 400 | 25,0 |
| Oleoducto TransAndino (OTA) | 305,4 | 55,0 |
| TOTAL | 2970,4 | 1647,00 |

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Los oleoductos que atraviesan todo el territorio nacional se presentan a continuación

Figura 23: Sistema Nacional de Oleoductos



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Si bien la infraestructura actual presentada en las figuras 24-28, sugiere un crecimiento en la producción gracias a la generación en el oriente del país, a finales del 2012 se proyectó la construcción de nuevas obras, como por ejemplo el Oleoducto Bicentenario, obra que en conjunto con Ecopetrol, Meta Petroleum, Petrominerales, Hocol, entre otros, fue diseñada para transportar los crudos provenientes de los Llanos Orientales. De acuerdo con lo señalado por la UPME, la construcción del oleoducto contaba con cerca de 976 kilómetros en diámetros

estimados de 42", 30" y 35" desde la estación Araguaney hasta el terminal marítimo de Coveñas.

Figura 24: Oleoducto del Alto Magdalena



Figura 25: Oleoducto Caño Limón-Coveñas

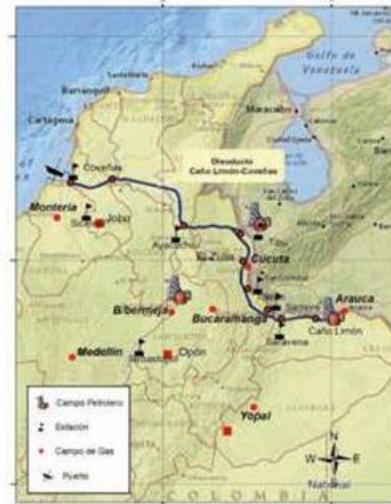


Figura 26: Oleoducto Colombia



Figura 27: Oleoducto Central de Los Llanos



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Figura 28: Oleoducto Ocesa



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Ahora bien, con respecto al transporte de los refinados en el país, se cuenta con un total de 3.890 kilómetros de poliductos encargados principalmente de transportar gasolinas, diesel, combustóleo y GLP. La empresa líder de esta actividad en el país es Ecopetrol (a través de su filial Cenit S.A), tal como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11: Información del sistema nacional de poliductos del país del año

| Nombre del Poliducto | Km | Transporte Estimado (KBPD) |
|----------------------|--------------|----------------------------|
| CENIT | 3.862 | 1.100 |
| Otros | 28 | 7,0 |
| Total | 3.890 | 1.107 |

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Figura 29: Red nacional de poliductos



Fuente: Ecopetrol, 2013

En cuanto a las empresas nacionales dedicadas al transporte de gas desde las facilidades a los centros de refinación y/o centros de acopio, se cuenta con la participación de Transportadora de Gas Internacional - TGI S.A. E.S.P. y Promigas, siendo estas dos las más representativas en esta área de transporte (Ver Figura 30).

Figura 30: Red nacional de gasoductos



Fuente: Ecopetrol, 2014

En la actualidad se encuentran en desarrollo varios proyectos de expansión de la red, tanto en oleoductos existentes como en nuevos oleoductos (ej. Oleoducto Bicentenario), con los que se proyecta la evacuación de la creciente producción de hidrocarburos.

3.1.2.3 *Downstream*- Refinación

Esta etapa comprende las actividades de refinación y petroquímica. Las refinerías emplean energía eléctrica y térmica en grandes proporciones razón por la cual son altos consumidores de energía. Estas facilidades o instalaciones industriales, obtienen su energía principalmente de:

- Autogeneración (TG - Turbina de Gas)
- Cogeneración (TV - Turbina de Vapor)
- Conexión al SIN

Los equipos y procesos de refinación y Petroquímica son muy sensibles a los cortes de energía y requieren por tanto una altísima confiabilidad en el suministro de éste servicio.

En el panorama nacional, operan cinco (5) refinerías que están en capacidad de procesar 329 KBPD según reportes consolidados de la UPME (Ver Tabla 12).

Tabla 12: Volúmenes de carga de las principales refinerías - 2013

| Nombre de la refinería | Carga (KBPD) |
|------------------------------|--------------|
| Refinería de Barrancabermeja | 238 |
| Refinería de Cartagena | 76 |
| Hidrocasanare | 10 |
| Refinería de Orito | 2,8 |
| Refinería de Apiay | 2,5 |
| Total | 329,3 |

Fuente: UPME, 2013

La Figura 31 muestra las ubicaciones de las refinerías en el país.

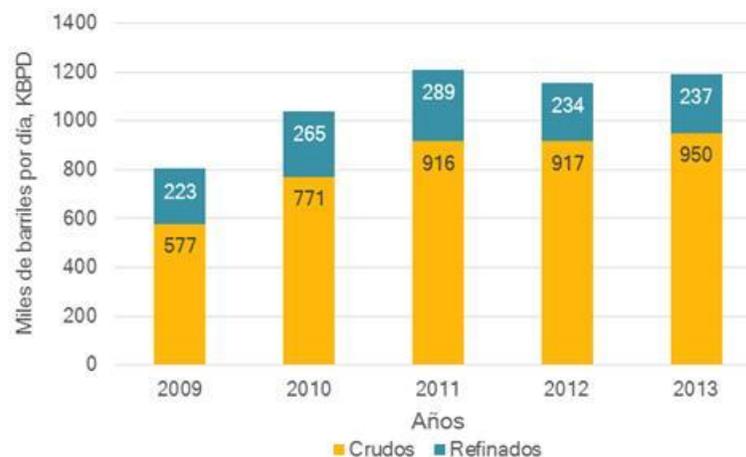
Figura 31: Ubicación de las refinerías en Colombia



Fuente: Elaboración de la consultoría y Google Maps ®

La participación de Ecopetrol en esta etapa de la cadena es importante dado que posee el 95% de la refinación nacional. El porcentaje restante corresponde a aquellas unidades de destilación primaria que no superaron los 15 KBPD en lo corrido del 2013 (Ver Figura 32).

Figura 32: Evolución crudos y refinados procesados por Ecopetrol 2012-2013



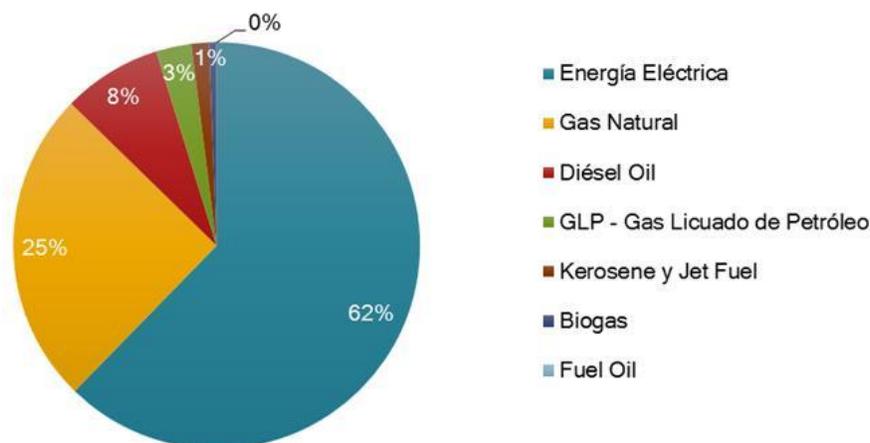
Fuente: Ecopetrol, 2013

De acuerdo con las cifras presentadas en la figura anterior, la evolución del crudo procesado se mantuvo en 23% entre los años 2011 y 2013, mientras que la producción de refinados desciende del 23 al 19 % en el mismo periodo.

3.1.3 Generalidades sector de comercio y público

Con el propósito de establecer inicialmente la distribución del consumo de energía en los sectores de comercio y público objeto del presente estudio, se analizó la información del Balance Energético (UPME, 2012) en donde se identificó la distribución por energético como se observa en la Figura 33.

Figura 33: Consumo nacional 2012 Sectores comercio y público



Fuente: Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Adicionalmente se revisaron los resultados del estudio adelantado por la UPME en el año 2013 (CORPOEMA-UPME, 2013), dicho estudio contribuyó con información de las regiones y pisos térmicos del país (ver 3.2.3 piso térmico), las características energéticas del sector relacionadas con el consumo de energía, los tipos de energéticos utilizados, los usos finales, procesos y la estimación de potenciales de ahorro, agrupados en cuatro regiones del país: centro, costa, noroccidente, suroccidente y en los departamentos que hacen parte del SNI - Sistema Interconectado Nacional, en tamaños de establecimiento, micro, pequeño, mediano y grande de acuerdo con el valor de los activos.

Analizando los resultados del Balance Energético (UPME 2012) y del estudio en referencia, se logró concluir que el sector terciario en Colombia es el de menor demanda de energía, con una participación del 7% de la energía final con

contribución en el PIB nacional del 60%. Para el año 2012, el consumo de energía del sector servicios fue de 13.775.000 MWh (49.590.000 GJ), con un 66,2 % en energía eléctrica, gas natural con el 28,9% y el GLP con una participación de 4,8%. El diésel se utiliza en forma marginal, especialmente en las plantas de emergencia

En relación con los consumos de energía por usos finales CORPOEMA identificó que el mayor consumo de energía se concentra en iluminación, seguido del acondicionamiento de espacios y refrigeración; es así, como la participación de los usos finales en porcentaje reflejó un 7,7% en calor directo, 0,9% calor indirecto, 31% en iluminación, 13,9% en refrigeración, 22,8% en acondicionamiento de espacios, 12,4% en fuerza motriz, 8,8 % en equipos de oficina, 1,4% servicios generales y 1,0% en otros usos.

3.1.4 Caracterización energética del sector servicios por tipo de establecimiento

Con el objetivo de realizar una caracterización preliminar del sector servicios por tipo de establecimiento, se reconstruyó la información de los resultados del estudio de la UPME (CORPOEMA - UPME, 2013) y se complementó con el balance energético del 2012 (UPME 2012), para reagruparlos de otra forma con el fin de identificar en forma específica los consumos energéticos de cuatro tipos de establecimientos del sector servicios en Colombia: comercio al por mayor y detal, hoteles, administración pública y defensa y hospitales grandes; considerando tamaños de tipo mediano y grande, para los diferentes tipos de usos finales de la energía.

Adicionalmente se reagruparon los tipos de establecimientos en función de las distintas regiones y pisos térmicos, fríos, templados y cálidos. El piso térmico frío corresponde con la región centro, el templado a las regiones nororiente, noroccidente y suroccidente, y en el cálido a la región costa. Los energéticos corresponden a energía eléctrica, gas natural y GLP. Para propósitos de cuantificar el consumo total de cada establecimiento, el consumo total se presenta en Mega vatio hora [MWh] con cifras del año 2012.

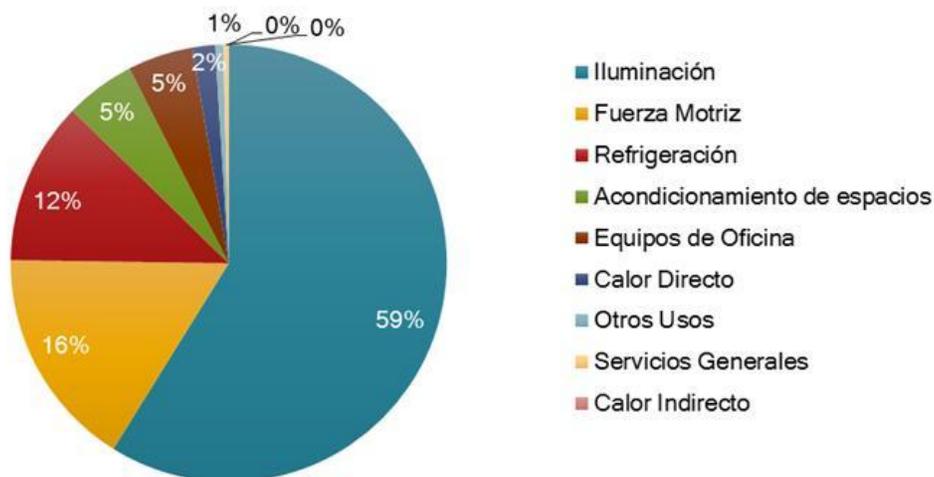
Con los resultados del anterior análisis se estableció una línea base para abordar el estudio de capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en el sector comercio y público del país.

3.1.4.1 Región piso térmico frío

Esta región corresponde fundamentalmente al centro del país. Tiene un consumo total de energía de 4.344.200 MWh (15.639.120 GJ) con una participación del 47,2% en gas natural, 46% energía eléctrica y 6,8% GLP. Del total se seleccionaron los establecimientos equivalentes de acuerdo con los requerimientos del estudio actual, para un consumo de energía de 2.699.320 MWh (9.717.552 GJ) distribuidas en comercio al mayor y detal, hoteles, administración pública y defensa y hospitales.

Para el comercio al mayor y detal el consumo es de 843.668 MWh (3.037.204 GJ) desagregado en iluminación con el 59,05% del total, seguido por fuerza motriz y refrigeración, correspondientes a 16,04% y 12,1%, respectivamente. (Ver Figura 34).

Figura 34: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico frío



Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

En hoteles se obtuvo un consumo total de 1.318.189,2 MWh (4.745.481,12 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 35

Figura 35: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico frío

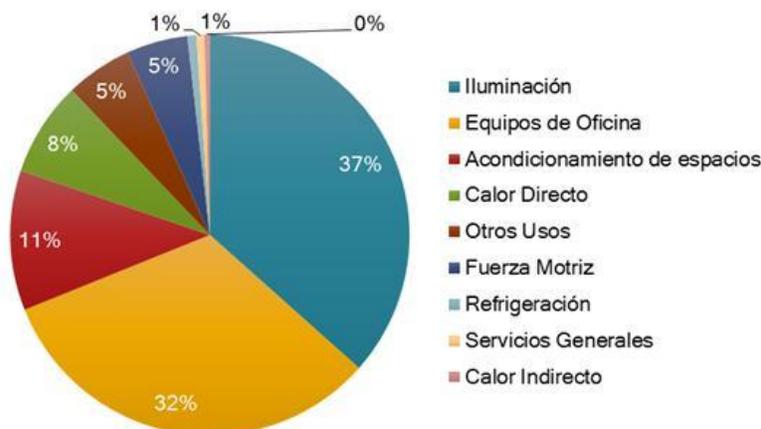


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Se observa que para este tipo de establecimientos el mayor consumo se encuentra en calor directo, equivalente al 36,4% del total, seguido de calor indirecto e iluminación, con 24,15% y 14,4%, respectivamente.

Para la Administración Pública y Defensa, se obtuvo un consumo total de 234.088 MWh (842.716,8 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 36.

Figura 36: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico frío

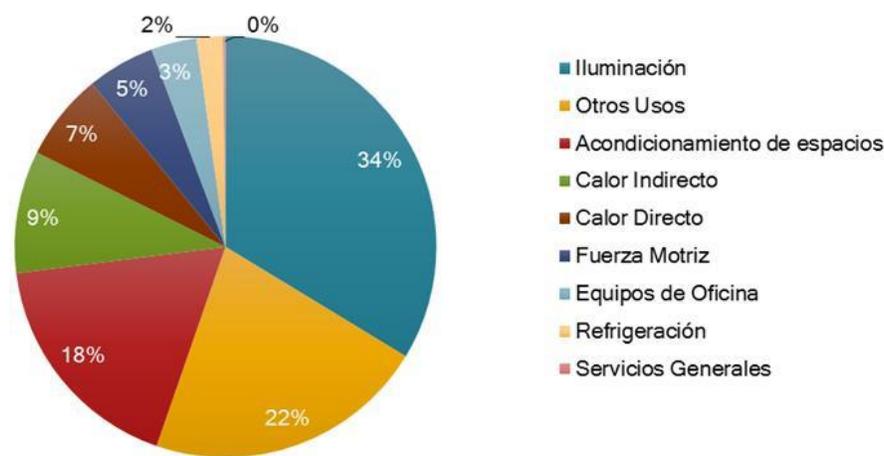


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Se observa que en este sector los mayores consumos correspondieron iluminación y equipos de oficina, equivalentes a 37,15% y 32,5%, respectivamente.

En hospitales grandes el consumo total estimado es de 305.196 MWh (1.098.705,6 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 37.

Figura 37: Consumos energéticos de hospitales grandes- Piso térmico frío



Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

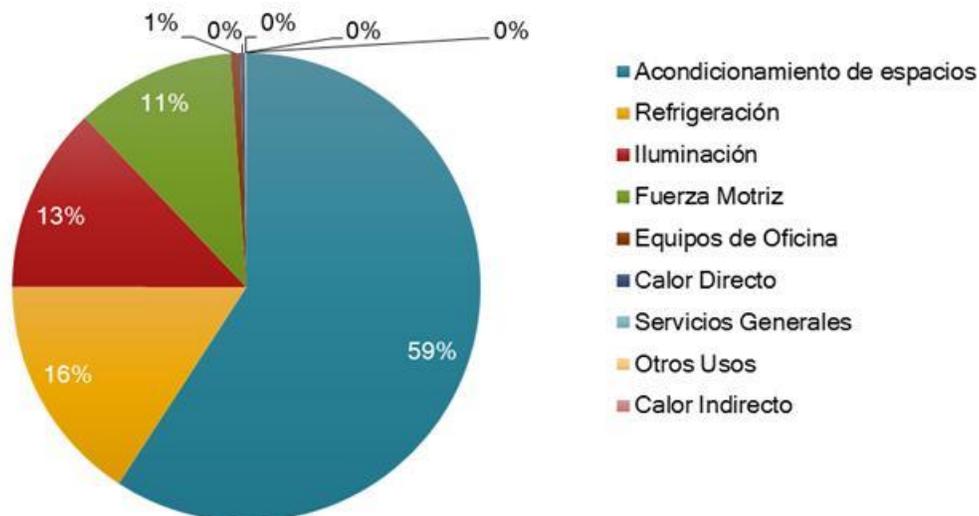
Para estos tipos de establecimientos, los mayores consumos de usos finales se presentaron en iluminación (34,3%), otros usos (21,6%) y acondicionamiento de espacios (17,7%).

3.1.4.1 Región piso térmico cálido

Esta región, corresponde a la región Costa con un consumo total de 2.727.160 MWh (9.817.776 GJ), cuya participación de los energéticos corresponde a 66,7% en energía eléctrica: 32,5% gas natural y 0,9% GLP. Para los establecimientos seleccionados el total es de 1.986.152 MWh (7.150.147,2 GJ)

En comercio al mayor y detal el consumo total es de 1.197.120 MWh (4.309.632 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 38.

Figura 38: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico cálido

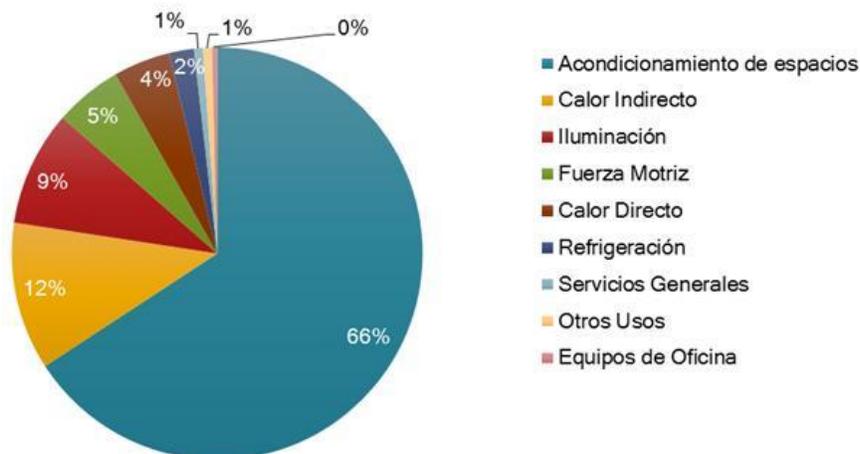


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Como se observa de la figura anterior, los mayores consumos de este tipo de establecimientos estuvieron en los usos finales de acondicionamiento de espacios y refrigeración.

El sector de hoteles presentó un consumo total de 324.220 MWh (1.167.192 GJ), repartidos en los diferentes tipos de uso final, tal como se muestra en la Figura 39.

Figura 39: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico cálido

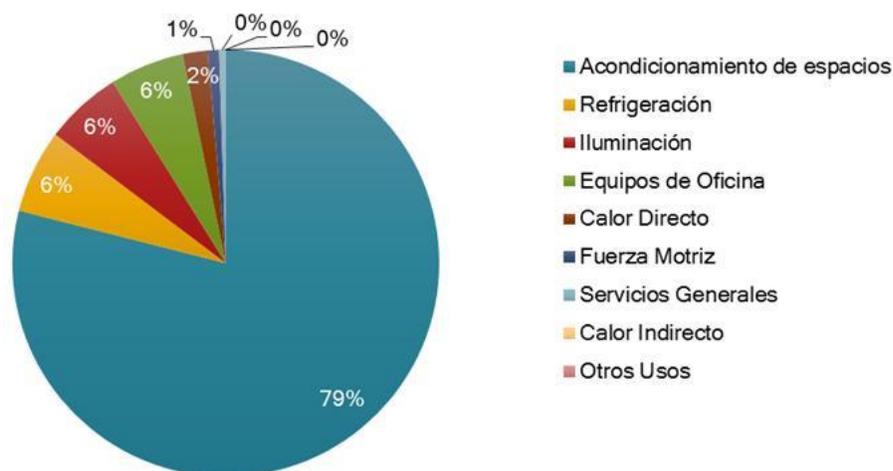


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Como se observa en la figura, el mayor consumo de energía pertenece a usos de acondicionamiento de espacios con 65,50% del total, seguido por calor indirecto e iluminación, correspondientes a 11,55% y 9,00%, respectivamente.

En Administración Pública y Defensa se obtuvo un consumo total de 170.056 MWh (612.201,6 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 40.

Figura 40: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico cálido



Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

En este tipo de establecimientos, el mayor consumo de usos finales de energía correspondió a acondicionamiento de espacios con 78,66%.

En hospitales grandes el consumo total fue de 305.196 MWh (1.098.705,6 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 41.

Figura 41: Consumos energéticos de hospitales grandes - Piso térmico cálido



Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

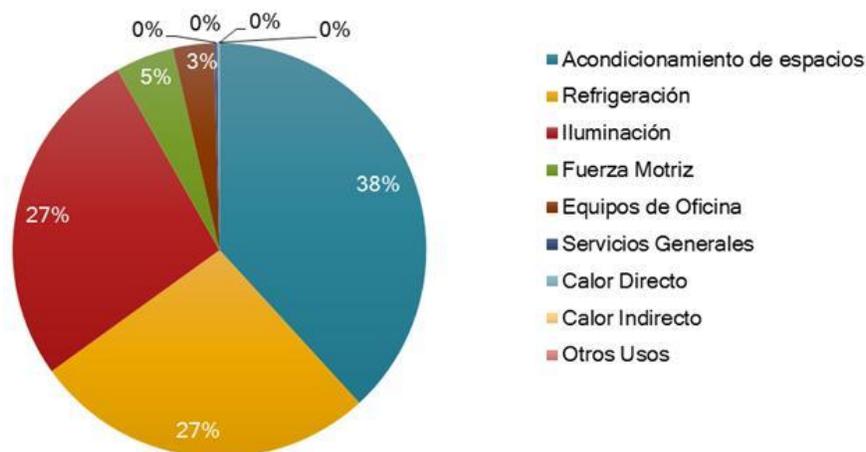
Cómo en los anteriores casos, el mayor consumo de energía de este sector estuvo asociado a los usos finales de acondicionamiento de espacios e iluminación, equivalentes a 64,4% y 15,8%, respectivamente.

3.1.4.2 Región piso térmico templado

Piso térmico correspondiente a las regiones noreste, noroeste y suroeste del país, con un consumo total de energía de 5.824.360 MWh (20.967.696 GJ), distribuidos en un 18,73% gas natural, 75,9% energía eléctrica y 5,3% GLP. El consumo total para los establecimientos seleccionados en el presente estudio es de 4.228.200 MWh (15.221.520 GJ).

En comercio al mayor y detal el consumo total obtenido fue de 2.104.588 MWh (7.576.516,8 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42: Consumos energéticos de comercio al mayor y detal - Piso térmico templado

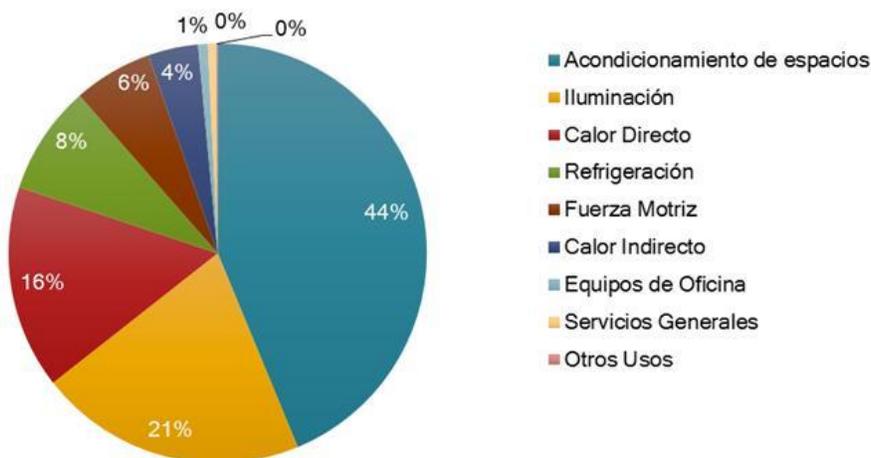


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Como se observa, el mayor consumo de energía pertenece a usos de acondicionamiento de espacios con 38,18% del total, seguido por iluminación y refrigeración, equivalentes a 26,72% y 26,85%, respectivamente.

En hoteles se obtuvo un consumo total de 631.736 MWh (2.274.249,6 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 43.

Figura 43: Consumos energéticos de hoteles - Piso térmico templado

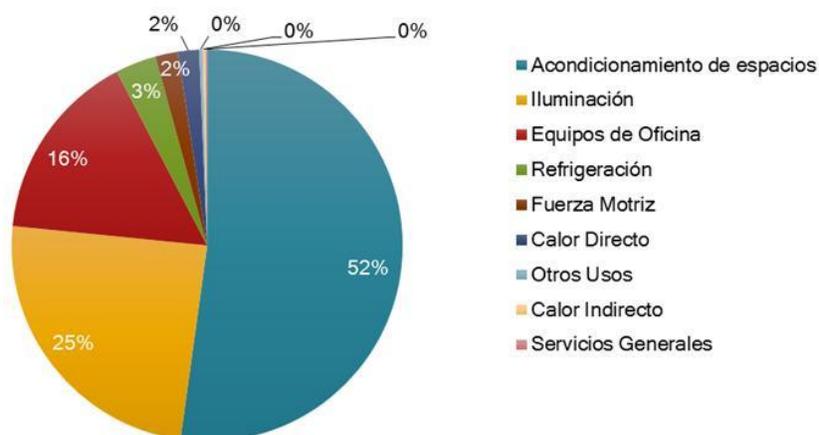


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Para este establecimiento, los mayores consumos en usos finales se encuentran, fundamentalmente, en acondicionamiento de espacios (43,78%) e iluminación (20,68%).

Para la Administración Pública y Defensa se obtuvo un consumo de 917.792 MWh (3.304.051,2 GJ). En la Figura 44 se muestra el desagregado por usos finales.

Figura 44: Consumos energéticos de administración pública y defensa - Piso térmico templado

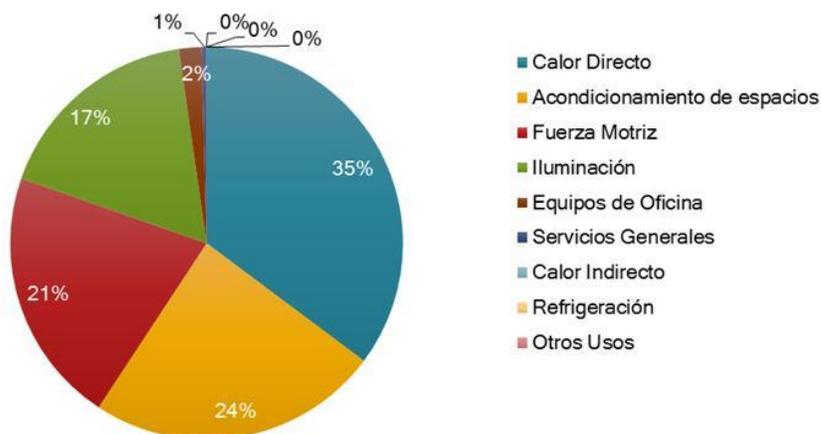


Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Siguiendo la línea de los otros establecimientos, en este se observa que en los usos de acondicionamiento de espacios se obtuvo el mayor consumo (52,33%), seguido por iluminación (24,7%).

En hospitales grandes el consumo total fue de 574.130 MWh (2.066.868 GJ), desagregado en diferentes tipos de uso final, como se muestra en la Figura 45.

Figura 45: Consumos energéticos de hospitales grandes - Piso térmico templado



Fuente: Datos estudio CORPOEMA - UPME 2013, Balance UPME 2012, elaboración de la consultoría

Se observa que el uso final de mayor consumo es el de calor directo, correspondiente a 35,25%, seguido por acondicionamiento de aire y fuerza motriz, correspondientes.

3.2 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA PARA LOS DIFERENTES SECTORES OBJETO DEL ESTUDIO

La consultoría ha realizado el acercamiento a la muestra mediante la cual se proyecta la estimación de la cogeneración y la autogeneración según los objetivos planteados. Para los efectos, se establecen las siguientes precisiones:

3.2.1 Universo de estudio

Está conformado por los establecimientos no regulados de los sectores de industria, petróleo, comercio y público que pertenezcan a la clasificación CIIU Rev. 4, especificadas en los términos de referencia. Se incluye además, como complemento a la investigación, los establecimientos hospitalarios y hoteleros. La Tabla 13 ilustra tamaño del universo para los sectores mencionados.

3.2.2 Construcción del universo de estudio.

En el desarrollo de esta investigación es fundamental contar con información a priori del consumo de los usuarios; esto permite, por una parte, detectar los autogeneradores y cogeneradores potenciales, según lo expuesto en el párrafo

anterior, y, por otra parte, invertir eficientemente los recursos en una muestra derivada de un universo bien demarcado.

En este orden de ideas con base en la información del Sistema Único de Información de Servicios Públicos, SUI, la Encuesta Anual Manufacturera 2012, las Bases de datos Enterprise-UPME (Cámaras de Comercio) y el reporte de los Consumos de energía de usuarios no regulados (Fuente XM)-, se demarcó el universo de establecimientos tomando como criterio principal los usuarios no regulados toda vez que es en este grupo donde mayormente se dan las posibilidades para la autogeneración y la cogeneración.

La información de estos reportes y su análisis permitió la organización de los establecimientos para los fines del estudio, como se muestra en la tabla resumen a continuación

Tabla 13: Resumen universo de establecimientos por sector

| Sector | Establecimientos | |
|--------------|------------------|------------|
| | Número | % |
| Industria | 2.106 | 56 |
| Comercio | 1.107 | 29 |
| Hospitales | 171 | 5 |
| Hoteles | 169 | 4 |
| Público | 119 | 3 |
| Petróleo | 97 | 3 |
| Total | 3.769 | 100 |

Fuente: XM y elaboración de la consultoría

En resumen, se observa un universo de 3.769 establecimientos que consumen energía bajo la modalidad de no regulados. De estos, el 56% corresponden al sector industria, 29% son establecimientos comerciales, 5% hospitales, 4% a hotelería, 3% a establecimientos públicos y 3%²⁴ en puntos de consumo de energía en la cadena productiva del petróleo.

²⁴ El número de establecimientos del sector petróleo representa estrictamente los puntos de consumo de energía en la cadena productiva de petróleo bajo las consideraciones señaladas en el numeral 3.2.3 del presente documento.

Las decisiones correspondientes a la muestra se realizan en forma separada para cada sector debido a que el comportamiento de la autogeneración y cogeneración es muy diferente en estos grupos.

3.2.3 Criterios de clasificación de la muestra

A continuación se describen los criterios de clasificación considerados para cada uno de los sectores y la determinación de la muestra.

Tamaño de planta: Este criterio aplica para todos los sectores y se establece haciendo cálculos sencillos orientados a determinar el tamaño de planta de generación de energía eléctrica que de acuerdo a los consumos registrados por XM en cada uno de los establecimientos podría abastecer su demanda de energía.

El tamaño de planta se ha definido en este estudio como la capacidad nominal de una planta de generación equivalente que operada permanentemente a plena carga, puede aportar la energía consumida por el establecimiento, por un periodo de tiempo dado.

Esto es:

$$TP [MW] = \frac{E \text{ Eléctrica en el periodo } [MW - h] * 0,9}{\text{tiempo } [horas]}$$

Donde el factor de ajuste es de 0,9 para el sector de industria y petróleo y para el sector de comercio y público este valor es de 0,7.

Ahora bien con base en la información proporcionada por XM, es posible calcular el tamaño de planta hipotética que podría suplir todo el consumo eléctrico reportado en esta base de información.

Intensidad energética: Cantidad de energía utilizada para producir unidades definidas de producción y/o actividad. Se mide como la cantidad de energía requerida para desempeñar una actividad en particular. Se expresa como unidades de energía por unidad de producción. (DOE, 2012). Para los propósitos del estudio se tomó la clasificación genérica presentada en la Tabla 8.

Piso térmico: Para los sectores de comercio, público, hoteles y hospitales, adicional a la clasificación por el tamaño de planta equivalente calculado, se realizó una

estratificación de la población de acuerdo con su ubicación geográfica (ciudad) y la altitud (m.s.n.m.) teniendo en cuenta la información de la tabla siguiente:

Tabla 14: Criterio de clasificación por piso térmico

| Piso térmico | Altitud [m.s.n.m] |
|--------------|----------------------|
| Cálido | $A < 1000$ |
| Templado | $1000 \leq A < 2000$ |
| Frío | $A \geq 2000$ |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Cadena de producción (Petróleo): A diferencia del sector de industria, comercio y público, los puntos de consumo de energía en el sector petróleo son administradas por pocas compañías en el país, como es el caso de Ecopetrol que asocia cerca de 50 de estos puntos de consumo, por ese motivo se decidió definir el tamaño de la muestra teniendo muy presente la cadena productiva de cada punto de consumo de energía. En la Tabla 13 se mencionan 97 puntos de consumo de energía que no representan necesariamente ese mismo número de instalaciones físicas donde se pueda tener consumo de energía, pues pueden estar sin conexión al SIN. .

En este orden de ideas, se ha considerado que este grupo debe ser incluido en el estudio como un grupo aparte. Igualmente, se prevé que las grandes compañías dedicadas a la explotación del crudo, transporte y refinación del país, formen parte de la muestra por investigar.

3.2.4 Muestra de establecimientos del sector de industria

Los reportes de XM aportan la base principal en la construcción del universo de establecimientos susceptibles de ser incluidas en esta investigación toda vez que en él se detalla el consumo de electricidad permitiendo así construir un primer agrupamiento de estos establecimientos según el tamaño equivalente de una planta generadora²⁵ (ver numeral 3.2.3). Igualmente los reportes contienen el código CIIU y la localización del establecimiento. De otra parte, la información distribuida por el programa UNIDO de las Naciones Unidas permitió realizar una

²⁵ El consumo reportado se convirtió al equivalente de una planta generadora que despacha el 90% del tiempo (sector de industria) a plena carga es capaz de suministrar la energía consumida por el establecimiento.

segunda clasificación de los establecimientos del sector de industria según la intensidad en el uso de la energía²⁶. Adicionalmente esta información se cruzó con la base de datos de la Superintendencia de Sociedades con referencia a los años 2011 y 2012, hecho que permitió complementar la información de los establecimientos con la disponible en estas bases de datos.

En resumen, el **universo de establecimientos** del sector de Industria manufacturera está conformado principalmente por los establecimientos no regulados que compran energía eléctrica y están registrados en XM. La tabla siguiente nos presenta una distribución de estos establecimientos en relación con su tamaño de planta, derivada del consumo de energía eléctrica, (ver numeral 3.2.3) y como segundo criterio de clasificación la intensidad en el uso de la electricidad asociada con el sector de la industria (identificado a través del código CIIU). Este último criterio es valioso en este estudio toda vez que la clasificación mediante la intensidad de uso genera automáticamente los grupos de actividades económicas CIIU Rev. 4 correspondientes. Ello favorece metodológicamente el análisis y proyección de la autogeneración y cogeneración para las actividades que resulten claves de analizar según la intensidad de uso.-Ver tabla a continuación.

Tabla 15: Distribución de los establecimientos industriales no regulados, clasificados por tamaño de planta e intensidad de uso de la electricidad

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente intensivo | Intensivo | Poco intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|--------------|----------------|---------------|
| TP ≥ 2 | 74 | 46 | 5 | 125 |
| 1 ≤ TP <2 | 47 | 64 | 13 | 124 |
| ½ ≤ TP <1 | 58 | 136 | 23 | 217 |
| TP <½ | 501 | 936 | 203 | 1640 |
| Total general | 680 | 1.182 | 244 | 2.106 |

Fuente: XM, UNIDO, Clasificación de las actividades económicas CIIU Rev.4; Elaboración de la consultoría.

La clasificación de los establecimientos con el doble criterio (tamaño de planta e intensidad en el uso de la electricidad) ha permitido crear un agrupamiento fino con características muy afines y muy homogéneos en cada grupo lo cual permite

²⁶ UNIDO, Clasificación de las actividades económicas según CIIU e intensidad de uso (provisional)

focalizar la atención a los intereses del estudio y determinar en mejor manera los grupos y establecimientos que formaran parte de la muestra.

La variable tenida en cuenta para efectos de la selección de la muestra fue el tamaño de la planta en MW (ver numeral 3.2.3). Observándose que el tamaño de la planta se puede obtener directamente del consumo de energía se entiende entonces que entre estas variables existe una alta correlación y que cualquiera de ellas sirve para los propósitos en la selección de la muestra. A continuación se presentan la Tabla 16 y la Tabla 17 con los indicadores estadísticos que permiten el cálculo del tamaño de muestra.

Tabla 16: Promedio de tamaño de planta -MW

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco Intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|-------------|----------------|---------------|
| $TP \geq 2$ | 6,22 | 3,25 | 2,87 | 4,99 |
| $1 \leq TP < 2$ | 1,47 | 1,36 | 1,31 | 1,40 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 0,69 | 0,71 | 0,67 | 0,70 |
| $TP < \frac{1}{2}$ | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,15 |
| Total general | 0,95 | 0,41 | 0,31 | 0,57 |

Fuente: XM, reporte de establecimientos enero-julio 2014. Cálculos de la consultoría.

Tabla 17: Desviación estándar del tamaño de planta -MW

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco Intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|-------------|----------------|---------------|
| $TP \geq 2$ | 5,86 | 1,62 | 0,59 | 4,84 |
| $1 \leq TP < 2$ | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,27 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 0,15 | 0,14 | 0,11 | 0,14 |
| $TP < \frac{1}{2}$ | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Total general | 2,69 | 0,74 | 0,49 | 1,65 |

Fuente: XM, reporte de establecimientos enero-junio 2014. Cálculos de la consultoría.

Tabla 18: Coeficiente de variación del tamaño de planta²⁷

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|-------------|----------------|---------------|
| TP ≥ 2 | 0,94 | 0,50 | 0,21 | 0,97 |
| 1 ≤ TP <2 | 0,19 | 0,19 | 0,20 | 0,19 |
| ½ ≤ TP <1 | 0,22 | 0,20 | 0,16 | 0,20 |
| TP <½ | 0,76 | 0,75 | 0,81 | 0,76 |
| Total general | 2,83 | 1,81 | 1,57 | 2,90 |

Fuente: XM, reporte de establecimientos enero-junio 2014. Cálculos de la consultoría.

Tabla 19: Desviación estándar ponderada por el número de elementos en los subgrupos

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------|
| TP ≥ 2 | 433,83 | 74,62 | 2,95 | 511 |
| 1 ≤ TP <2 | 12,89 | 16,89 | 3,37 | 33 |
| ½ ≤ TP <1 | 8,90 | 18,84 | 2,53 | 30 |
| TP <½ | 57,93 | 109,84 | 24,30 | 192 |
| Total general | 513,55 | 220,19 | 33,15 | 766,90 |

Fuente: XM, reporte de establecimientos enero-junio 2014. Cálculos de la consultoría

Nota: Es la ponderación de la Tabla 17 tomando como criterio de peso la Tabla 15, no es estrictamente un producto matricial

Tabla 20: Varianza del tamaño de planta ponderada por el número de elementos en los subgrupos

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco intensivo | Total general |
|-----------------------------|---------------------|---------------|----------------|-----------------|
| TP ≥ 2 | 2.543,36 | 121,05 | 1,74 | 2.666 |
| 1 ≤ TP <2 | 3,54 | 4,46 | 0,87 | 8 |
| ½ ≤ TP <1 | 1,37 | 2,61 | 0,28 | 4 |
| TP <½ | 6,70 | 12,89 | 2,91 | 22 |
| Total general | 2.554,97 | 141,01 | 5,80 | 2.701,77 |

Fuente: XM, reporte de establecimientos enero-junio 2014. Cálculos de la consultoría.

Nota: Desviaciones estándar en Tabla 17 convertidas a varianza y ponderadas por Tabla 15.

²⁷ El coeficiente de variación se define como la desviación estándar dividida por el promedio

3.2.4.1 Modelo de muestreo

La doble clasificación de las industrias, por tamaño equivalente de planta e intensidad de uso de la energía, permiten visualizar un modelo estratificado por las dos variables mencionadas para la definición de la muestra. Este estudio busca centrar su atención en los grupos (estratos) con mayor consumo de energía y mayor intensidad de uso; por lo tanto, a medida que disminuye la intensidad de los dos criterios, disminuye también el interés de estudio, ya que se asume que en estos grupos no hay la capacidad económica para la autogeneración, ni factibilidad para la cogeneración.

En este orden de ideas, el análisis de la muestra para el sector de industria estará circunscrito a este modelo estratificado según la importancia en el estudio y la menor varianza que se observa con el agrupamiento en la mayoría de los grupos (salvo el primer estrato -Altamente intensivo con planta mayor o igual a 2 MW y el grupo Intensivo con planta menor a $\frac{1}{2}$ MW).

El tamaño de la muestra se estima para un modelo estratificado buscando minimizar la varianza del estimador. Este procedimiento algunas veces conduce a resultados aparentemente contradictorios exigiendo muestras de tamaño superior al tamaño del estrato, (G. COCHRAN, 1977) y (PEREZ, 2000), debido a que carga el peso de la muestra en los estratos donde la varianza es mayor a expensas de un menor tamaño de muestra en estratos con varianza pequeña.

A lo largo de este estudio se muestra que es precisamente en los estratos con grandes consumos de energía y uso altamente intensivo donde la autogeneración y cogeneración son más viables, hecho que favorece la distribución de los elementos de la muestra. La información de la Tabla 21 contiene lo pertinente para el cálculo del tamaño de muestra que para los efectos del estudio, se obtiene de 218 establecimientos del sector de industria.

El modelo de cálculo se presenta en la siguiente ecuación²⁸

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h S_h)^2}{\frac{e^2}{z^2} + \sum_{h=1}^L N_h S_h^2}$$

Donde:

N_h : es el tamaño en el universo del estrato h

S_h : es la desviación estándar del estrato h

L: es el número de estratos

n: es el tamaño de la muestra

e: error

z: Confiabilidad

Tabla 21: Cálculo del tamaño de muestra - Sector de industria

| Tamaño de muestra | |
|-------------------------|------------|
| Error (MWe) | 0,1 |
| Confiabilidad | 95% |
| Numerador Parcial | 588.132,29 |
| Denominador parcial | 2.701,77 |
| $(e/z)^2$ | 0,00260308 |
| Tamaño de muestra (a/b) | Aprox: 217 |

Fuente: Cálculos de la consultoría

3.2.4.2 Distribución de la muestra en los estratos

La distribución se realizó asignando mayor peso a los estratos con mayor consumo energético y mayor intensidad de consumo de energía de tal forma que simultáneamente se aplique el principio de Pareto (un número pequeño de

²⁸ La s cifras de la Tabla 15 aporta la composición en número de establecimientos por estrato, la Tabla 17, la desviación estándar en el correspondiente estrato, la Tabla 19 el resultado de ponderar las desviaciones estándar por el correspondiente tamaño del estrato para obtener el numerador de la ecuación y la Tabla 20 el resultado de ponderar la varianza por el tamaño del estrato para obtener el denominador (parcial) de la ecuación

establecimientos consume una alta proporción de electricidad). La siguiente tabla muestra el resultado final de esta asignación.

Tabla 22: Distribución de la muestra en los estratos - Sector de industria

| Tamaño de planta [TP en MW] | Altamente Intensivo | Intensivo | Poco Intensivo | Asignación % fila | Total |
|-----------------------------|---------------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| TP ≥ 2 | 54 | 33 | 5 ⁽¹⁾ | 0,50 | 92 |
| 1 ≤ TP <2 | 16 | 10 | 7 | 0,15 | 33 |
| ½ ≤ TP <1 | 16 | 10 | 7 | 0,15 | 33 |
| TP <½ | 22 | 13 | 26 | 0,20 | 61 |
| Asignación % columna | 0,5 | 0,30 | 0,20 | 1 | 218 |
| Total | 109 | 65 | 44 | 218 | 218 |

(1) El número excede el tamaño del universo en este estrato. Los elementos restantes se asignan al estrato poco intensivo y tamaño de planta menor a 0,5 MW

Una vez establecidos los valores de muestra por estrato (ver Tabla 22) se procedió a seleccionar los grupos de establecimientos aleatoriamente, cumpliendo con los valores indicados. Los resultados de este ejercicio aleatorio se presentan a continuación.

La Tabla 23 indica la distribución de la muestra tan solo en 17 departamentos de Colombia, donde el Valle del Cauca tiene la mayor cantidad de establecimientos, seguido por Antioquia y Bogotá D.C., con el 18,3%.

Tabla 23: Distribución de la muestra aleatoria por departamento

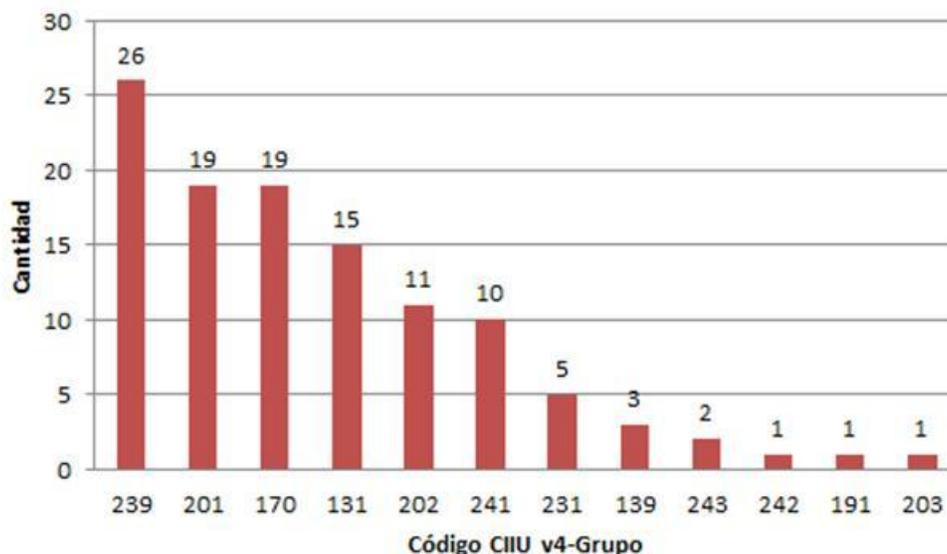
| Departamento | N° | % |
|------------------|----|------|
| Valle | 43 | 19,6 |
| Antioquia | 40 | 18,3 |
| Distrito Capital | 40 | 18,3 |
| Cundinamarca | 23 | 10,5 |
| Atlántico | 17 | 7,8 |
| Bolívar | 13 | 5,9 |
| Cauca | 11 | 5,0 |
| Caldas | 7 | 3,2 |
| Boyacá | 5 | 2,3 |
| Risaralda | 5 | 2,3 |
| Santander | 5 | 2,3 |

| Departamento | N° | % |
|--------------------|------------|------------|
| Norte de Santander | 4 | 1,8 |
| Cesar | 3 | 1,4 |
| Córdoba | 1 | 0,5 |
| Quindío | 1 | 0,5 |
| Tolima | 1 | 0,5 |
| Huila | 0 | 0,0 |
| Total | 219 | 100 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Ahora bien, si se revisa la muestra por la intensidad energética los resultados se presentan en las siguientes figuras.

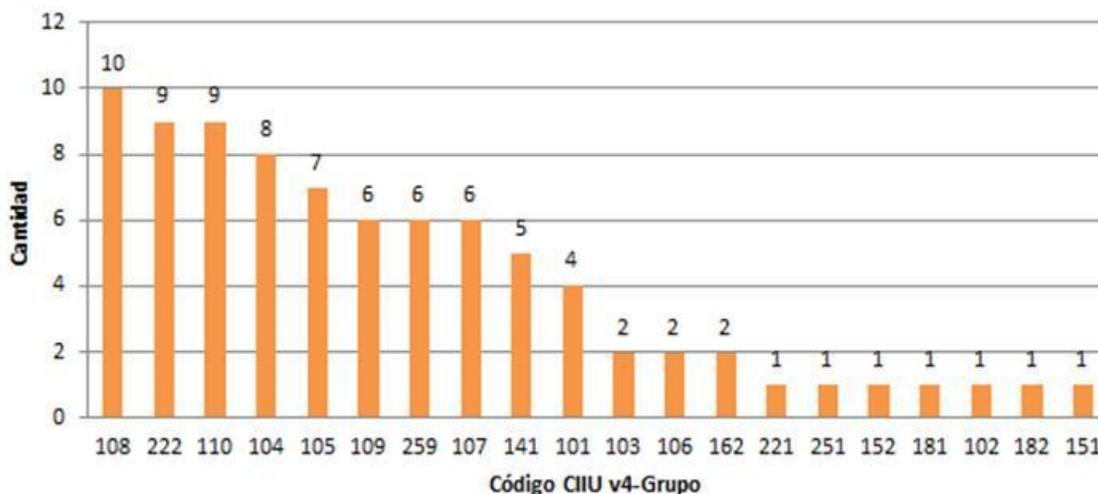
Figura 46: Distribución de la muestra - Altamente intensivos (AI)



Fuente: Elaboración de la consultoría

El grupo del código CIIU Rev.4 que aporta la mayor cantidad de establecimientos es el 239 el cual corresponde a la fabricación de productos minerales no metálicos y en segundo lugar la fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánicos (201) compartido con la fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (170). Luego con 15 establecimientos la industria de textiles (131), con 11 establecimientos la fabricación de otros productos químicos (202), entre otros.

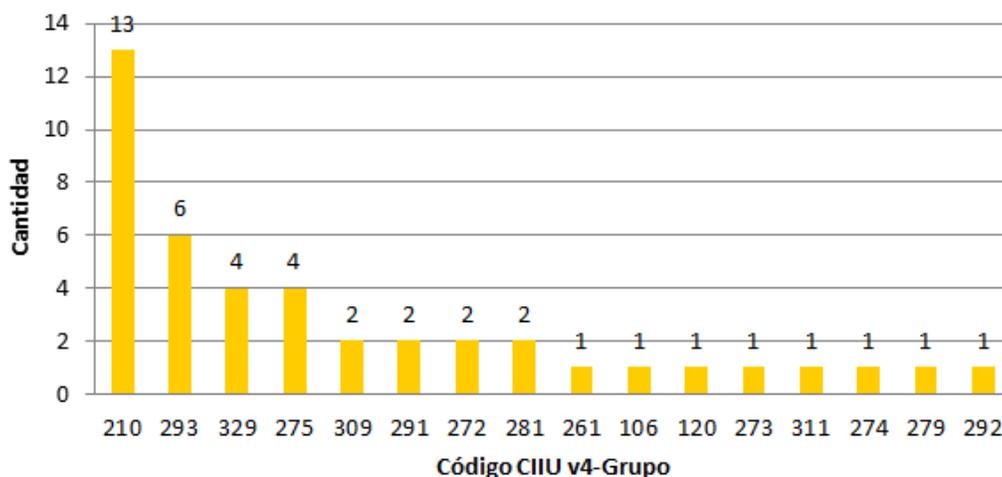
Figura 47: Distribución de la muestra- Medianamente intensivos (MI)



Fuente: Elaboración de la consultoría

Para el grupo de medianamente intensivos se tiene que el Código CIIU Rev.4 con mayor participación es el 108 el cual corresponde a la Elaboración de productos alimenticios seguido por Fabricación de productos de plástico y Elaboración de bebidas (CIIU Rev. 4 222 y 110 respectivamente) cada una con 9 establecimientos (Ver Figura 47).

Figura 48: Distribución de la muestra- Poco intensivos (PI)



Fuente: Elaboración de la consultoría

Por su parte, los grupos poco intensivos tienen su mayor representación en el Código CIU Rev. 4. 210 que corresponde a fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales (Ver Figura 48).

Para mayor detalle de la muestra ver el Anexo E sección sector de industria (información confidencial).

3.2.5 Muestra de establecimientos del sector petróleo

El grupo conformado por los establecimientos dedicados a la explotación del petróleo constituye un grupo especial toda vez que es un gran consumidor de energía eléctrica con un gran potencial para la autogeneración y cogeneración.

Con el propósito de ilustrar el efecto de un tamaño de muestra, se tomó como variable de estratificación el tamaño de la planta y se estimó el tamaño de muestra tomando como criterio minimizar la varianza del estimador (media - total). Los resultados muestran un tamaño de muestra de 24 puntos de consumo.

Tabla 24: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del petróleo - Desviación estándar del tamaño de planta

| Tamaño de planta [TP en MW] | Producción | Transporte | Refinación | Total general | $N_h^{29} * S_h^{30}$ |
|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|-----------------------|
| $TP \geq 2$ | 25,34 | 13,25 | - | 20,20 | 464,5 |
| $1 \leq TP < 2$ | 0,23 | 0,02 | 0,20 | 0,22 | 2,7 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 0,11 | 0,11 | - | 0,14 | 1,5 |
| $TP < \frac{1}{2}$ | 0,17 | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 6,7 |
| Total general | 14,24 | 7,89 | 0,78 | 10,82 | 475,38 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Tabla 25: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del petróleo - Varianza del tamaño de planta

| Tamaño de planta [TP en MW] | Producción | Transporte | Refinación | Total general | $N_h * Var_h^{31}$ |
|-----------------------------|------------|------------|------------|---------------|--------------------|
| $TP \geq 2$ | 642,32 | 175,59 | - | 407,85 | 9380,5 |
| $1 \leq TP < 2$ | 0,05 | - | 0,04 | 0,05 | 0,6 |

²⁹ N_h : Número de establecimientos en el universo.

³⁰ S_h : Desviación estándar de los establecimientos por estrato.

³¹ Var_h : Varianza de la población.

h: Estrato

| Tamaño de planta [TP en MW] | Producción | Transporte | Refinación | Total general | $N_n * Var_n^{31}$ |
|-----------------------------|---------------|--------------|-------------|---------------|--------------------|
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 0,01 | 0,01 | - | 0,02 | 0,2 |
| $TP < \frac{1}{2}$ | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,9 |
| Total general | 202,86 | 62,19 | 0,61 | 117,06 | 9.382 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

De acuerdo con lo anterior, $n = 24,08$, con lo cual el tamaño de muestra es 24.

Ahora bien, al realizar la distribución de la muestra en los estratos proporcional a la variabilidad, resulta útil considerar únicamente el primer estrato (mayores de 2 MW, con mayor varianza). No obstante, la consultoría propone hacer una mejor distribución que incluya toda la cadena de producción y la mayor parte de los tamaños de planta.

Tabla 26: Puntos de consumo de energía en la cadena productiva del sector petróleo

| Tamaño de planta [TP en MW] | Producción | Transporte | Refinación | Asignación columna | Total |
|-----------------------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------|
| $TP \geq 2$ | 8 | 6 | 0 | 0,6 | 14 |
| $1 \leq TP < 2$ | 1 | 1 | 1 | 0,1 | 3 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 0 | 0 | 1 | 0,04 | 1 |
| $TP < \frac{1}{2}$ | 5 | 0 | 1 | 0,25 | 6 |
| Asignación. Fila | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1 | - |
| Total general | 14 | 7 | 3 | - | 24 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

De todas maneras y como se mencionó previamente, dada la importancia de las principales empresas del sector fueron contactadas de manera prioritaria pues su importancia en la capacidad actual de autogeneración y cogeneración es muy significativa, su visión y las políticas que piensen implementar impactan de manera decisiva el potencial de este sector para los próximos cinco años.

Para mayor detalle de la muestra ver el Anexo E sección sector petróleo (información confidencial).

3.2.6 Muestra del sector de comercio

Para este estudio, es necesario considerar los siguientes aspectos que inciden en la selección de una muestra de establecimientos. De una parte, las edificaciones del sector de comercio mantienen una tipología en materia de diseño y locaciones

que las hace similares no sólo en una misma ciudad sino entre ellas. De otra parte, los establecimientos comerciales, de acuerdo a los estudios de caracterización, son intensivos en el uso de electricidad para iluminación y refrigeración, con algunas diferencias en lo que tiene que ver con el aire acondicionado para mantener las instalaciones frescas y cuyo efecto se ve principalmente en los climas cálidos. De otra parte, al observar en la Tabla 13 el universo de establecimientos comerciales, se observa también que una vez clasificados por tamaño de planta se trata de un universo concentrado en establecimientos con planta menor de 0.5 MW dejando poco espacio para pensar que en este grupo se encuentre un potencial de autogeneración o cogeneración representativo. En otras palabras, no parece razonable para la consultoría ahondar con una muestra grande en este grupo.

Tabla 27: Universo del sector de comercio de acuerdo con la altitud (pisos térmicos)

| Agrupación | Cálido | Templado | Frío | Total general |
|-------------------------|------------|------------|------------|---------------|
| Grandes Superficies | 276 | 114 | 141 | 531 |
| Abastos | 12 | 11 | 6 | 29 |
| Cajas de compensación | 15 | 5 | 13 | 33 |
| Estaciones de servicios | 177 | 39 | 39 | 255 |
| Supermercado | 21 | 11 | - | 32 |
| Otros | 122 | 53 | 52 | 227 |
| Total general | 623 | 233 | 251 | 1.107 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En este mismo sentido, al observar la Tabla 27 se tiene que los establecimientos clasificados en dicha forma, pueden mostrar diferencias significativas toda vez que su negocio es diferente y sugiere usos especializados de la electricidad como también la posibilidad de existencia de potencial autogeneración y cogeneración.

Así las cosas, lo anterior permite a la consultoría sugerir, y así lo ha discutido con la UPME, la opción de tomar una muestra de establecimientos prototipo que representen más la actividad predominante, sin darle mayor peso al consumo de electricidad y buscando más bien determinar diferencias o particularidades por variables como el piso térmico y la actividad del establecimiento. La tabla que se presenta a continuación muestra la propuesta final de muestra de establecimientos comerciales. En la última columna de la Tabla 28 se registra el método de selección de los establecimientos teniendo en consideración que esta selección se realiza

independientemente en cada grupo. Igualmente, la asignación de representatividad por fila y columna indica la recomendación del consultor respecto de la representatividad de la muestra por tamaño de planta y piso térmico.

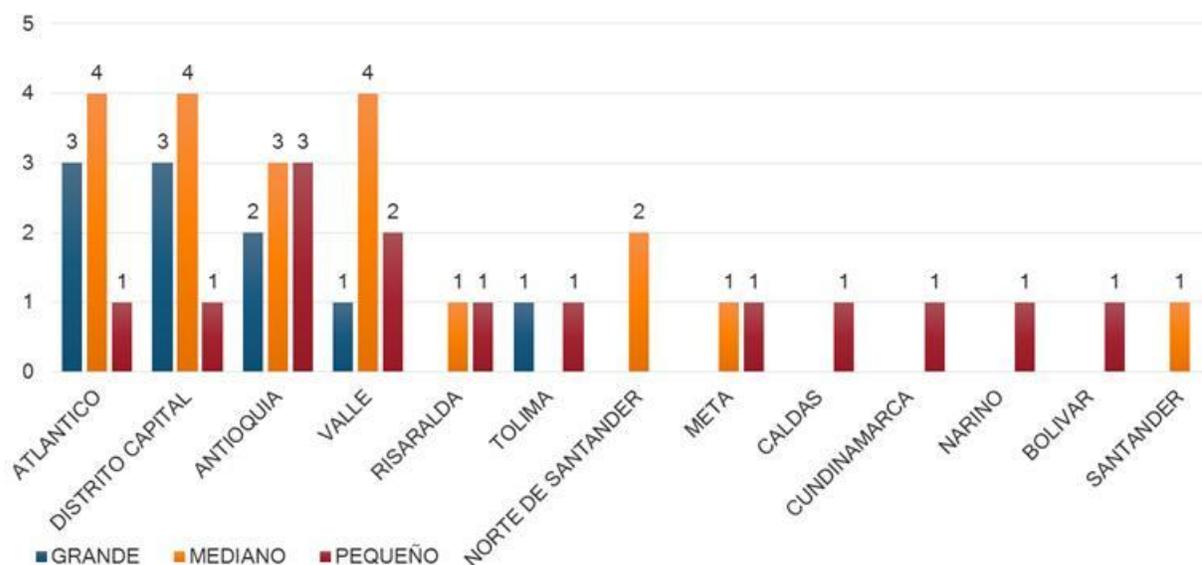
Tabla 28: Resumen muestra del sector de comercio

| Tamaño de planta MW | Cálido | Templado | Frío | Asignación Columna | Sumatoria | Método Selección |
|---------------------------|--------|----------|------|--------------------|-----------|------------------|
| TP >1 | 7 | 2 | 2 | 1 | 11 | Total |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 12 | 4 | 4 | 0,5 | 20 | Aleatorio |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 4 | 7 | 3 | 0,1 | 14 | Aleatorio |
| Asignación Fila | 0,3 | 0,5 | 0,2 | - | 45 | - |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Figura 49 se puede observar la distribución geográfica de la muestra por tamaño de planta.

Figura 49: Distribución geográfica de la muestra - Sector de comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

Para mayor detalle de la muestra ver el Anexo E sección sector comercio (información confidencial).

3.2.7 Muestra del sector público

Los establecimientos del sector público siguen un razonamiento similar al presentado con los del sector de comercio. La diferencia entre estos es más bien debida a su condición de públicos, pero sus instalaciones en general tienen

requerimientos similares a los establecimientos comerciales originados en el piso térmico que estén localizados y la dedicación de estos.

En la tabla siguiente se presenta el enfoque utilizado por la consultoría respecto de la inclusión de los establecimientos propuestos para formar parte de la investigación. En todo caso, esta muestra también se pretende que esté representada en el tamaño de la planta toda vez que es ahí donde se presume la existencia de un potencial para autogeneración y eventualmente para cogeneración.

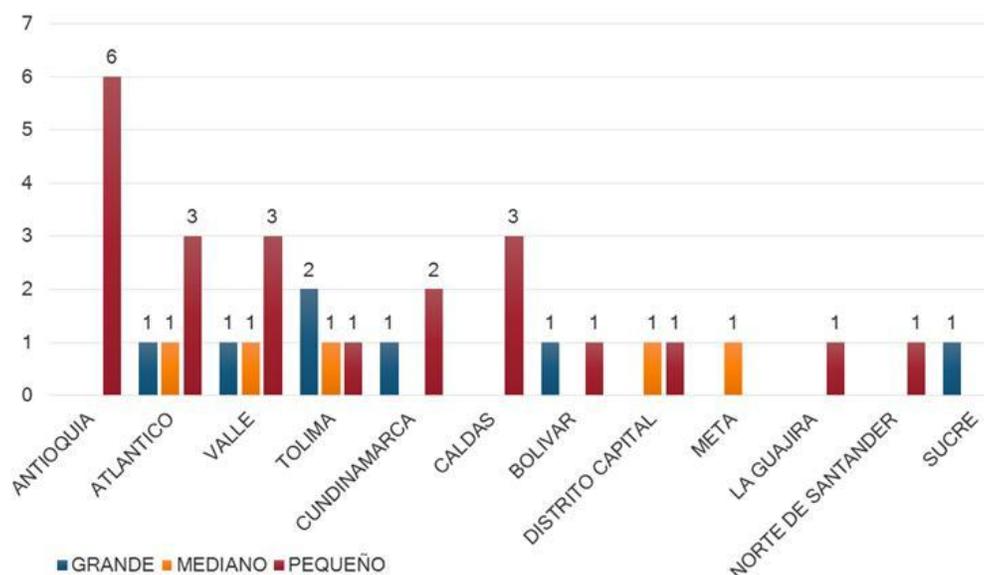
Tabla 29: Resumen muestra del sector público

| Tamaño de planta [TP en MW] | Cálido | Templado | Frío | Total General | Criterio de Selección |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|---------------|-----------------------|
| TP >1 | 7 | - | - | 7 | Técnico |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 4 | - | 1 | 5 | Técnico |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 13 | 5 | 4 | 22 | Técnico |
| Total General | 24 | 5 | 5 | 34 | |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Figura 50 se puede observar la distribución geográfica de la muestra por tamaño de planta.

Figura 50: Distribución geográfica de la muestra - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

Para mayor detalle de la muestra ver el Anexo E sección sector público (información confidencial).

3.2.8 Muestra del sector de hoteles y hospitales

La consultoría y la UPME han visto la necesidad de incluir el segmento de hospitales y hoteles toda vez que estos establecimientos funcionan en forma muy similar al sector de comercio, además por razones de su actividad requieren de una infraestructura que potencialmente les permite avanzar en soluciones de cogeneración. Estos establecimientos, igualmente, tienen otros requerimientos dependiendo del clima (piso térmico) e igualmente en razón de su complejidad como en el caso de los hospitales dependiendo de su complejidad en la atención prestada (nivel 1, nivel 2, nivel 3 y nivel 4).

Las tablas siguientes muestran los detalles del enfoque utilizado de inclusión de estos establecimientos en el estudio. Si bien, el número parece pequeño, hay que tener en cuenta que son muy similares en sus requerimientos de instalación salvo las diferencias generadas por el piso térmico y nivel de complejidad.

Tabla 30: Población del sector hoteles

| Tamaño de planta [TP en MW] | Cálido | Templado | Frío | Total |
|-----------------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| TP >1 | 5 | - | - | 5 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 12 | 1 | 2 | 15 |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 94 | 23 | 32 | 149 |
| Total | 111 | 24 | 34 | 169 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Tabla 31: Muestra del sector hoteles

| Tamaño de planta [TP en MW] | Cálido | Templado | Frío | Total |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| TP >1 | 2 | - | - | 2 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 2 | 1 | 1 | 4 |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 2 | 1 | 1 | 4 |
| Total | 6 | 2 | 2 | 10 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Tabla 32: Población del sector hospitales

| Tamaño de planta [TP en MW] | Cálido | Templado | Frío | Total |
|-----------------------------|------------|-----------|----------|------------|
| TP >1 | 4 | 2 | - | 6 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 16 | 3 | 1 | 20 |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 83 | 39 | 24 | 171 |
| Total | 103 | 44 | 2 | 171 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

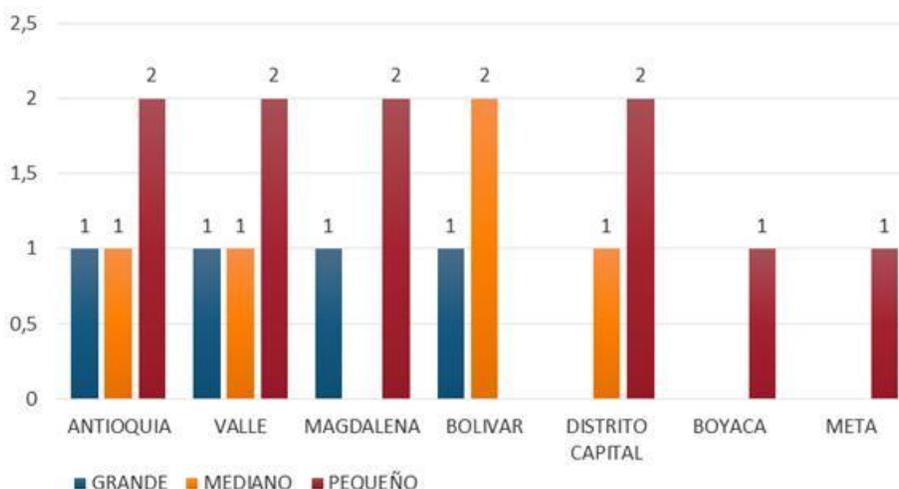
Tabla 33: Muestra del sector hospitales

| Tamaño de planta [TP en MW] | Cálido | Templado | Frío | Total |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| TP >1 | 1 | 1 | - | 2 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ | 1 | - | - | 1 |
| TP < $\frac{1}{2}$ | 3 | 1 | 2 | 6 |
| Total | 5 | 2 | 2 | 9 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Figura 51 se puede observar la distribución geográfica de la muestra por tamaño de planta.

Figura 51: Distribución geográfica de la muestra - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

Para mayor detalle de la muestra ver el Anexo E sección hoteles y hospitales (información confidencial).

3.2.9 Resumen y resultados de la muestra

Como se puede observar, la definición de la muestra para este estudio ha considerado particularidades específicas de los diferentes sectores a investigar y que en principio marcaron la razón de considerar por separado cada dominio de estudio. No obstante, los criterios adoptados mantienen en común una metodología de análisis que permite a futuro continuar en la profundización del conocimiento de grupos específicos ya sea desde el enriquecimiento de la precisión de las estimaciones incrementando los tamaños de muestra o introduciendo nuevos elementos de investigación a través de los formularios específicos de cada sector. A manera de resumen se presentan los criterios principales que orientaron la definición de la muestra.

- Los establecimientos o puntos en general de observación se clasifican mediante dos criterios: a) Tamaño equivalente de planta que en esencia refleja el consumo del punto de observación clasificándolo como un consumidor muy grande, grande o pequeño, b) criterio que mayormente distingue los puntos de observación similares; por ejemplo, en el caso industrial es la intensidad energética definida como el uso que se le da a la energía para los procesos manufactureros. Igualmente se observa en los establecimientos comerciales como las grandes superficies cuyos diseños y requerimientos de funcionamiento son estructuralmente similares y cuyas principales diferencias se presentan en las adecuaciones que requieren para operar en climas diferentes, especialmente en los ambientes relacionados con el aire acondicionado, refrigeración y similares. Caso similar también se observa con los hospitales que al considerarlos por el nivel de atención prácticamente son similares pero que requieren adecuaciones que los diferencian entre sí cuando se observan en diferente piso térmico.
- Constituyen especial atención para el estudio los puntos de observación donde se presume viable y existente la autogeneración o la cogeneración. En este sentido, los análisis previos muestran que con los criterios de clasificación utilizados no sólo se observa un gradiente de factibilidad en la existencia de la autogeneración o la cogeneración que es más notoria en grupos con altos consumos y alta intensidad energética (por analogía piso

térmico cálido) sino que además dicha factibilidad va disminuyendo en la medida que disminuye el consumo y la intensidad (hacia piso térmico frío).

- Para efectos de un mejor aprovechamiento de los recursos en esta investigación se prioriza la muestra en los grupos donde se presume la factibilidad y existencia de la autogeneración o cogeneración.

3.2.9.1 Muestra final

Una vez realizado el levantamiento de la información la muestra final con que cuenta este estudio se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 34: Muestra final del estudio

| Sector | Tamaño de muestra | Tamaño de población |
|------------|-------------------|---------------------|
| Industria | 232 | 2.106 |
| Comercio | 33 | 1.107 |
| Petróleo | 24 | 97 |
| Público | 34 | 127 |
| Hoteles | 10 | 169 |
| Hospitales | 9 | 171 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Como se puede observar (ver Tabla 34), la muestra final quedó conformada por 232 industrias, 33 establecimientos comerciales, 24 establecimientos del sector petróleo y 34 establecimientos públicos. La muestra refleja mayor énfasis en los estratos considerados de mayor aporte para el estudio y menor énfasis en los estratos de menor aporte.

CAPÍTULO 4

4 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La búsqueda de información para este estudio se orientó y enfocó en lograr recopilar información valiosa que le permitiera al consultor lograr una medición de las dos variables de interés: la autogeneración, la cogeneración (variables a ser medidas/cuantificadas) y también elementos claves que permitan visualizar el potencial de estas dos variables en los sectores de interés.

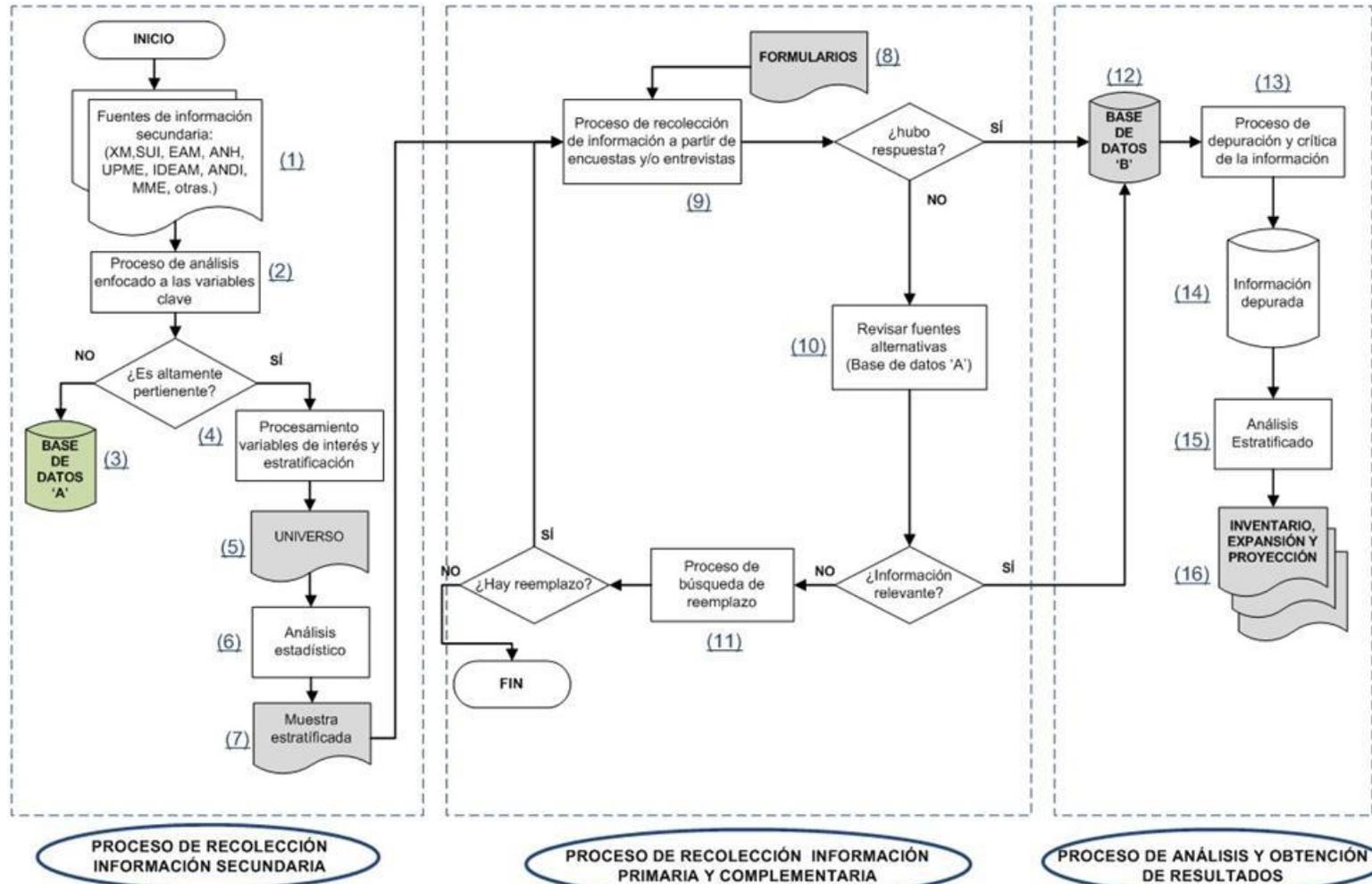
El proceso de recolección de información empleado está compuesto por tres subprocesos los cuales son:

- D. Proceso de recolección de información secundaria (ver 4.1)
- E. Proceso de recolección de información primaria (ver 4.3)
- F. Proceso de análisis y obtención de resultados (ver 4.4)

Como se verá más adelante cada uno de estos procesos tiene un objetivo claro y el consultor empleó diferentes instrumentos tales como: la investigación documental, la observación, la entrevista y la encuesta, entre otros.

En la Figura 52 se presenta todo el proceso de recolección de información ligando los tres subprocesos. Posteriormente se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

Figura 52: Proceso de recolección de información

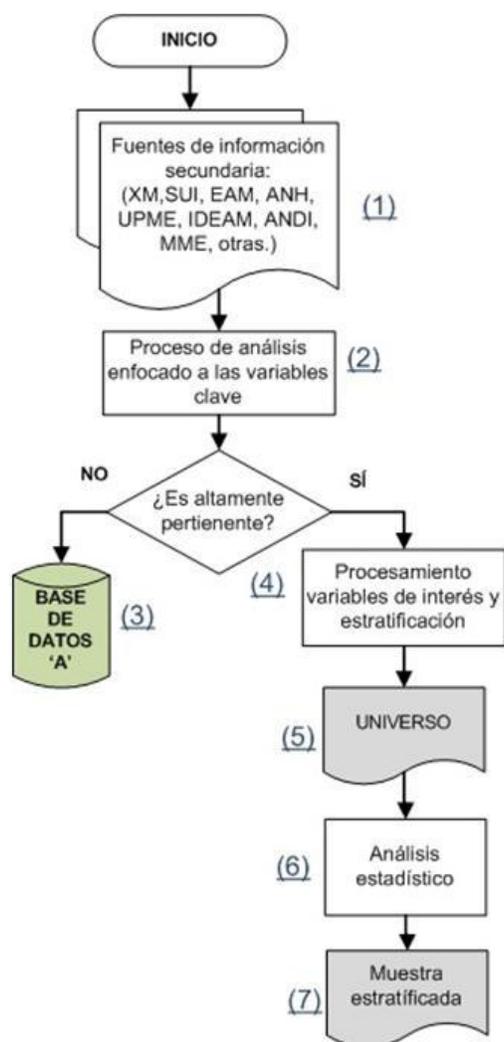


Fuente: Elaboración de la consultoría

4.1 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Esta información se obtiene a partir de investigaciones o registros hechos por otros investigadores con propósitos diferentes o parecidos al objeto del estudio. En este caso las fuentes principales de información fueron: ANDI, la ANH, la UPME y el MME; bases de datos de XM, SUI y UPME-Enterprise entre otras. En la figura siguiente se presenta una ilustración de este proceso.

Figura 53: Proceso de recolección de información secundaria



Fuente: Elaboración de la consultoría

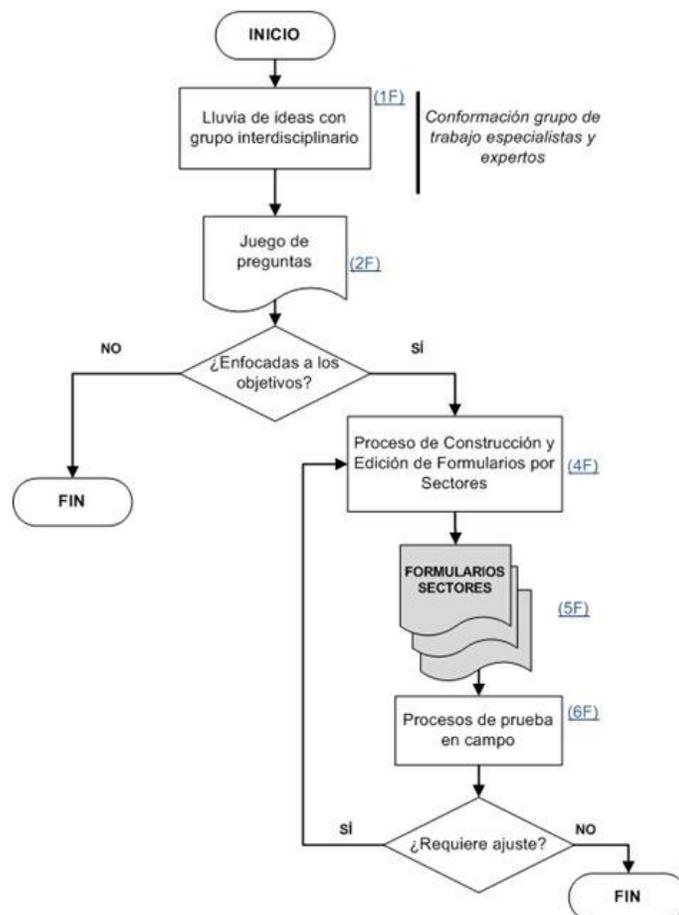
Ahora bien como puede observarse en la Figura 53, este proceso de recolección de información tuvo dos objetivos claros. El primero consistió en determinar la totalidad

de los elementos o agentes de interés en cada uno de los sectores, es decir determinar el universo ver (5) en la figura. Para este objetivo fue fundamental la investigación documental y de bases de datos ya que se requería alcanzar bastante cantidad de información con registros numéricos o mediciones que permitieran ligarla hacia las variables de interés, ver (4) en la figura. Una vez validada esta información, es decir se tuviera establecido el universo mediante un proceso estadístico y crítico (6) obtener la muestra estratificada (ver numeral 3.2). De otro lado el segundo objetivo consistió en generar una fuente consolidada con documentos con información pertinente y valiosa para una posterior consulta, proceso y generación de resultados como se verá más adelante.

4.2 FORMULARIOS DE ENCUESTAS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El objetivo del formulario es servir de instrumento para recopilar información clave para la crítica, procesamiento y análisis. En consecuencia, el formulario debe diseñarse con el criterio de efectividad, es decir preguntar dentro de lo posible lo más importante y lo estrictamente necesario. En la Figura 54 se hace una descripción del proceso de diseño de formulario empleado por el consultor para cada uno de los sectores.

Figura 54: Proceso de diseño de formulario por sectores



Fuente: Elaboración de la consultoría

Importante resaltar que el formulario debe desarrollarse con el grupo de especialistas empleando la lluvia de ideas como herramienta inicial, ver '1F' en la Figura 54. Luego se hace un ordenamiento de las preguntas por temas y se hace una evaluación crítica con el fin de determinar si las preguntas tienen el enfoque correcto hacia alguno de los objetivos planteados.

Una vez superada esta etapa se ejecuta un proceso de construcción y refinamiento en cuanto a las preguntas contemplando la naturaleza cada uno de los sectores generando como resultado el formulario, insumo importante en el proceso de recolección primaria ver '8' en Figura 52. Por último viene un proceso de prueba en campo el cual se procura ejecuta mediante encuestas presenciales donde el

formulario es administrado por el encuestador. Este proceso permite identificar necesidades de ajustes en el formulario dentro de un proceso de mejora continua.

A continuación se hace una descripción de los criterios, descripción general de los formularios y particularidades para cada uno de los sectores contempladas en sus respectivos formularios.

4.2.1 Criterios generales para el diseño de los formularios

Para el diseño de los formularios de recolección de información, o encuestas, a los diferentes actores de los sectores económicos bajo estudio, se han tomado en consideración los siguientes criterios básicos:

- Cada sector objeto del estudio cuenta con un formulario especialmente diseñado y atendiendo a sus características específicas.
- Su diseño debe permitir que pueda ser diligenciado de manera directa por el usuario externo o por un encuestador del equipo de trabajo del consultor.
- Debe ser totalmente auto-contenido y auto-explicado.
- Debe contener todas las declaraciones del propósito de la encuesta o proceso de recolección de información.
- Debe contener las declaraciones de privacidad y confidencialidad de la información, además del mantenimiento de la reserva del nombre del establecimiento en los diferentes reportes de público acceso.
- Debe poder ser sistematizados mediante una aplicación web con posibilidades de transferencia de información a hojas electrónicas (Excel de MS Office).

El formulario se ha diseñado de tal forma que cada una de las preguntas propuestas pretende recopilar información suficiente para dar alcance a los dos primeros objetivos específicos del proyecto; éstos son:

1. Establecer la capacidad instalada actualmente en los procesos de autogeneración y cogeneración
2. Identificar los potenciales de crecimiento de los procesos de autogeneración y cogeneración

A continuación se hace una descripción sobre las generalidades del formulario sin llegar a distinguir sector. Posteriormente se presenta la descripción de los campos de información específicos que responden a las particularidades de cada uno de los sectores.

4.2.2 Generalidades del formulario

El formulario, para los sectores objeto del estudio, se ha estructurado bajo los siguientes juegos de preguntas sobre información general:

1. Declaración del propósito de la encuesta y manejo de información (UPME)
2. Información de contacto
3. Declaración de autogenerador / cogenerador / no autogenerador-no cogenerador
4. Energía y energéticos empleados (matriz energética)
5. Capacidad instalada generación (energía eléctrica)
6. Motivadores autogenerador /cogenerador (si aplica)

Para cualquiera de los sectores objeto del estudio, el formulario o encuesta, debe conceptualizarse como dinámico; es decir que a, medida que se avanza en las respuestas, las preguntas sub-siguientes están ligadas o se desligan de acuerdo con los resultados anteriores.

A continuación se hace una breve descripción, para todos los sectores, de cada uno de los juegos de preguntas formulados y, posteriormente, se hace una descripción particular de las que aplican para cada uno de ellos.

4.2.3 Declaración del propósito de la encuesta y manejo de información

Este campo en particular dentro del formulario tiene varios objetivos. El primero consiste en que la UPME responda, de manera anticipada, preguntas que pueden surgir preliminarmente de parte del encuestado tales como: ¿por qué?, ¿para qué?, ¿quién?.

De otro lado es importante resaltar que, a la fecha de la ejecución de esta consultoría, no existe ningún acto administrativo o regulación que obligue a los actores, o agentes pertenecientes a los sectores de interés, a suministrar información; por lo tanto la UPME, hace tomar conciencia al entrevistado (ver texto

resaltado y subrayando en negrita siguiente figura), que la entrega de su información es completamente voluntaria y el manejo de la misma será totalmente confidencial.

Figura 55: Propósito de la encuesta y manejo de información

IMPORTANTE

Propósito de la encuesta: La Unidad de Planeación Minero Energética-UPME como entidad encargada de elaborar los escenarios de demanda y oferta de energía a nivel nacional, tiene la necesidad de establecer la capacidad instalada actual de Autogeneración y Cogeneración en Colombia y también de determinar la proyección de esta capacidad en el mediano plazo. La entrega de información es completamente voluntaria y su manejo será estrictamente confidencial, de forma agregada y sin mencionar nombres de agentes y/o empresas. Los resultados de este ejercicio serán usados por la UPME para la planeación de proyectos y/o medidas en el Sector Eléctrico en el mediano y largo plazo.

Fuente: Elaboración de la consultoría

Este campo debe actualizarse de acuerdo con las reglamentaciones o actos administrativos (leyes, resoluciones, decretos, etc.) futuros que implementen la UPME y/o el Ministerio de Minas y Energía con el fin de aumentar el compromiso de los actores a un nivel superior a la voluntad de los mismos.

4.2.3.1 Información de contacto

En los campos de información del contacto se establece la ubicación geográfica general y específica, números de teléfono e información de dos personas de contacto, una principal y una secundaria opcional.

Figura 56: Vista general sobre la información de contacto

1. INFORMACIÓN DE CONTACTO [Información a ser llenada por encuestador preliminarmente]

Nombre de la empresa: 1 XX- XXX-XXX-XX

Nombre de la Unidad Manufacturera Objeto de la Encuesta:

Dirección: Código Postal:

Ciudad/Municipio Departamento:

Página WEB

NIT: 2 Fecha

Nombre Persona de contacto Principal: Teléfono:

Cargo Correo-e:

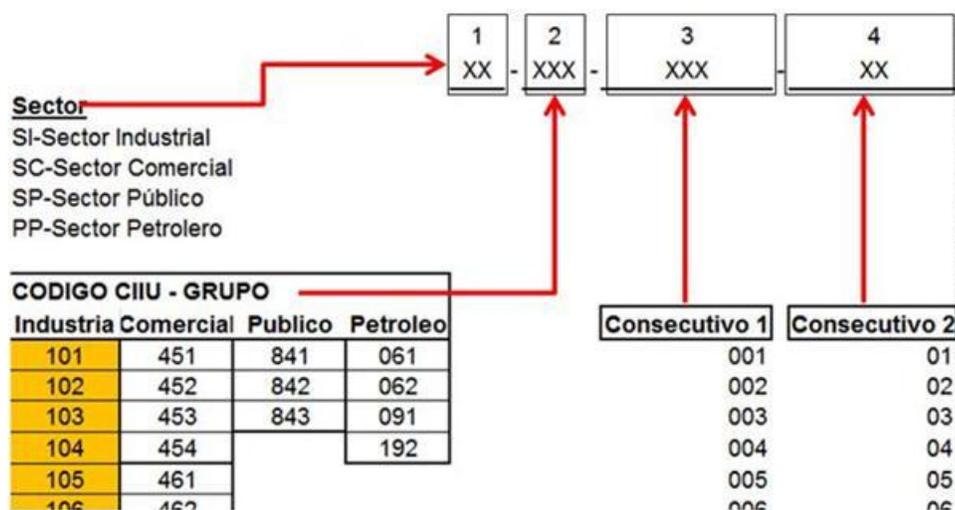
Nombre Persona de contacto opcional Teléfono:

Cargo Correo-e: ENCUESTADOR:

Fuente: Elaboración de la consultoría

De la figura anterior es importante resaltar que por ahora las llaves de entrada: actual y futura se señalan con círculos azules numerados de 1 a 2 arriba. El campo de información con el círculo 1 contiene un código de identificación (Ver Figura 57) que se asignará de acuerdo con el sector, el Código CIIU Rev. 4 a nivel de grupo y un par de consecutivos asignados dependiendo si el agente posee diferentes establecimientos, p. ej. Cadenas de supermercados, cementeras etc.

Figura 57: Código de identificación encuesta



Fuente: Elaboración de la consultoría

Toda la información establecida en este campo debe ser llenada preliminarmente y, al momento de ejecutar la encuesta, debe ser una oportunidad para reconfirmar y complementar todos los datos. Para una etapa posterior de actualización del estudio, la llave de entrada debe ser el NIT para facilitar la identificación y guardar coherencia a nivel institucional.

4.2.3.2 Declaración de autogenerador / cogenerador /no autogenerador-no cogenerador

En este campo de información el encuestado o entrevistado debe declararse en alguna de las siguientes condiciones:

- Autogenerador:
- Cogenerador
- No es autogenerador-no es cogenerador (consumidor puro)

Esta situación obliga al consultor a generar un marco de referencia a partir de la definición de cada una de estas condiciones, partiendo desde un punto de vista netamente técnico y simple, sin emplear, ni acudir, a otras definiciones pre-establecidas en el sector eléctrico colombiano. Los marcos de referencia se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35: Definiciones de las opciones de condición declarada por el establecimiento ³²

| | |
|----------------------------------|---|
| Autogenerar-Autogenerador | Autogenerar: Producción de energía eléctrica a partir de tecnologías y energéticos propios del establecimiento |
| Cogenerar-Cogenerador | Cogenerar: Producción y consumo simultaneo de energía eléctrica y energía térmica a partir de tecnología y energéticos propios del establecimiento |
| Consumidor puro | Existe actividad comercial/económica/pública, se consume energía eléctrica y en el establecimiento no se autogenera ni se cogenera |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Esta declaración es muy importante porque desencadena, en unión con los sectores del estudio, la dinámica de los formularios; éstas se explicarán posteriormente, de forma general en cada uno de los casos.

4.2.4 Energía y energéticos empleados (matriz energética)

Este arreglo de preguntas busca determinar la matriz energética del establecimiento en cuanto a consumo de energía eléctrica, y capacidad de almacenamiento (en horas y cantidades), combustibles gaseosos (gas natural, GLP), combustibles líquidos (Diésel, *Fuel Oil* No°6, crudo), combustibles sólidos (carbón, biomasa); incluso se busca identificar el uso de energía térmica (frío o calor) y aprovechamiento de energías renovables. Este juego de información solicitada tiene mayor prioridad para aquellos que se declaren como no autogeneradores-no cogeneradores (consumidores puros) ya que dependiendo de la información recopilada se podría establecer un potencial muy general; por otro lado, este conjunto de preguntas, para aquellos que se declaren como autogeneradores o cogeneradores, se hará casi al final del formulario.

³² Se buscó que las definiciones empleadas en el formulario fueran cortas, sencillas y con un enfoque técnico, en consecuencia difieren ligeramente de las definiciones regulatorias.

4.2.5 Capacidad instalada generación (energía eléctrica)

Este repertorio de preguntas, según su declaración como autogenerador, cogenerador o no autogenerador-no cogenerador, busca establecer la capacidad instalada, la tecnología y los energéticos empleados de la siguiente manera:

- a) Capacidad instalada en autogeneración
- b) Capacidad instalada en cogeneración
- c) Capacidad instalada en equipos de emergencia (todos)
- d) Capacidad instalada aprovechando energía renovables (depende de respuesta a juego de preguntas en 4.2.4)

Para autogeneradores se solicita la cantidad de energía eléctrica autogenerada, comprada y si actualmente podrían disponer de excedentes para comercializar en el SIN.

En cuanto a las tecnologías las opciones que dispone el formulario, ajustado a la realidad del país, son las siguientes:

Tabla 36: Tecnologías disponibles para autogeneración en Colombia

| | |
|-----------------------|--|
| MCI | Motores combustión interna |
| TG | Turbina de gas |
| Caldera-Turbina Vapor | Caldera-turbina de vapor |
| CC1 (TG + TV) | Ciclo combinado (turbina de gas + turbina vapor) |
| CC2 (MCI + TV) | Ciclo combinado (motor combustión interna + turbina vapor) |
| PCH | Pequeña central hidroeléctrica |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Los cogeneradores emplean las mismas tecnologías listadas en la tabla anterior exceptuando a las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Por último se indaga en esta parte el cuestionario sobre el estado actual de las tecnologías mediante una autoevaluación considerando las siguientes definiciones:

Tabla 37: Definiciones sobre el estado de las tecnologías

| | |
|-----------------------|--|
| Estado bueno | NO requiere <i>overhaul</i> o mantenimiento mayor en los próximos 5 años |
| Estado regular | SI requiere <i>overhaul</i> o mantenimiento mayor en los próximos 5 años |
| Estado malo | Requiere reemplazo en los próximos 5 años |

Fuente: Elaboración de la consultoría

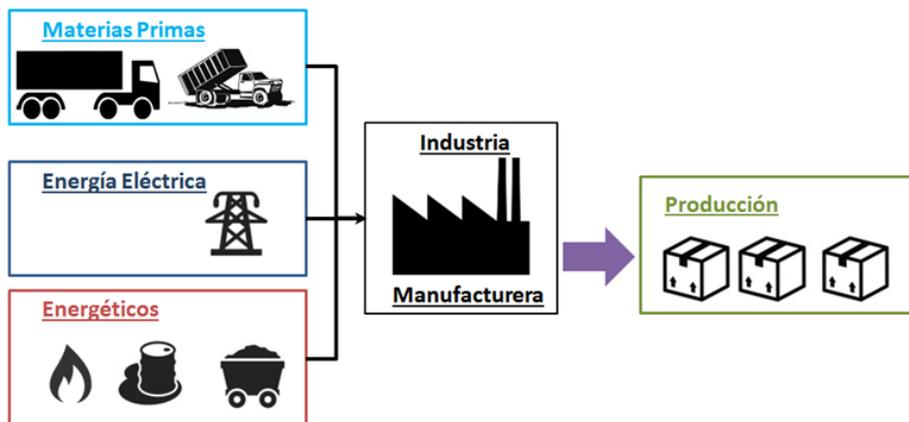
4.2.5.1 Motivadores para autogeneradores / cogenerador (si aplica)

Este arreglo de preguntas pretende identificar y valorar los motivos principales que permitieron en su momento desarrollar proyectos de autogeneración o cogeneración; a su vez permite indicar, en los próximos cinco años, si existen planes de ampliación y, de no ser así, que los motivaría a ampliar la capacidad en este periodo de tiempo.

4.2.6 Particularidades formulario del sector de industria

La conceptualización del sector de industria manufacturero se encuentra ilustrada, a continuación en la Figura 58, en un diagrama simple de entradas y salidas.

Figura 58: Diagrama de entradas y salidas- Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

Se definen como entradas generales para el proceso manufacturero las materias primas; éstas dependen de su actividad manufacturera (p.ej. insumos químicos, minerales, chatarra, etc.) y el consumo de energía eléctrica, y otros energéticos, tales como combustibles gaseosos, líquidos y sólidos. Desde la perspectiva del estudio, las dos últimas entradas toman mayor protagonismo ya que, la información

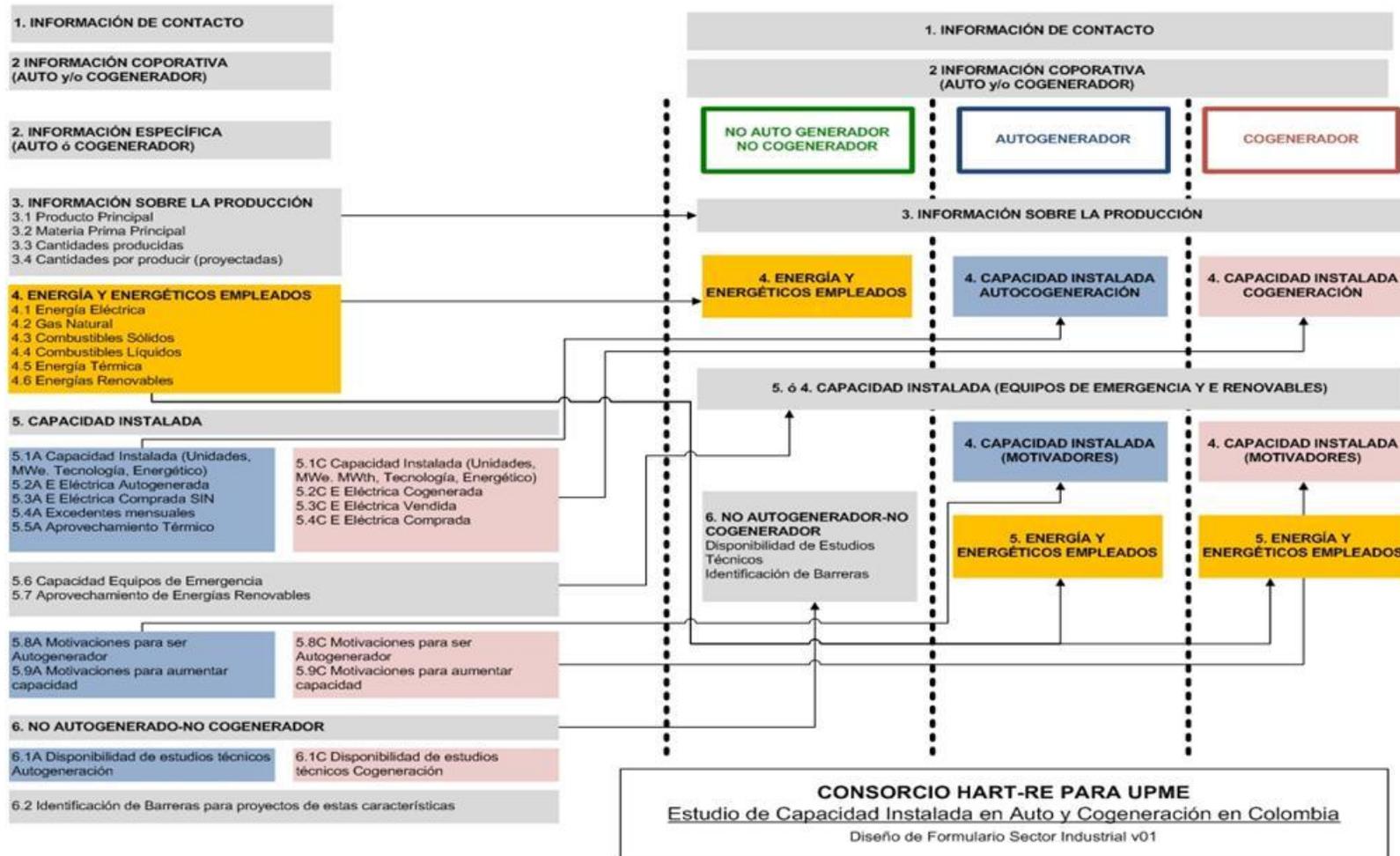
sobre estas dos variables, permite identificar un perfil en industria en cuanto a consumo, capacidades, costos de los mismo, etc.

4.2.6.1 Información sobre producción industrial

Este campo de información aplica principalmente para los sectores de industria y petróleo. Es muy importante identificar el producto principal que define el tamaño de la unidad manufacturera, también la solicitud de los registros de producción, tres años atrás, en la actualidad y la proyección en los siguientes tres años, son elementos muy importantes para la proyección en autogeneración y cogeneración.

La estructura del formulario para la industria manufacturera se presenta a continuación (Ver Figura 59).

Figura 59: Diseño del formulario dirigido al sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

4.2.6.2 Información sector petróleo

De acuerdo con las generalidades del sector descritas en el numeral 3.1.2, resulta prudente diseñar formularios individuales para cada eslabón en la cadena productiva. En ese caso, el consultor decide diseñar de manera esquemática un formulario para los establecimientos u operadores encargados de la producción de hidrocarburos, un formulario para aquellos agentes responsables del transporte y finalmente un formulario para los agentes dedicados al procesamiento de refinados y derivados.

De manera transversal se definen como entradas generales para el sector: la producción de hidrocarburos convencionales (crudo y gas), el volumen transportado y la carga de refinación así como el consumo de energía eléctrica y el uso de energéticos (combustibles líquidos, gaseosos y sólidos) en sus unidades operacionales. Con respecto a la información de la matriz energética, resulta importante mencionar la necesidad de recopilar información de consumo, capacidades, costos de los mismos, etc.

Una vez mencionadas las características generales del sector, se describen a continuación las particularidades de los formularios por eslabón en la cadena productiva:

Producción: A diferencia de los otros sub-sectores, el formulario para los agentes o establecimientos a cargo de la producción, pretende detectar el potencial tanto en cogeneración como en autogeneración previo análisis del consultor a la filosofía de operación de los campos de producción en el territorio nacional (Ver numeral 3.1.2.1).

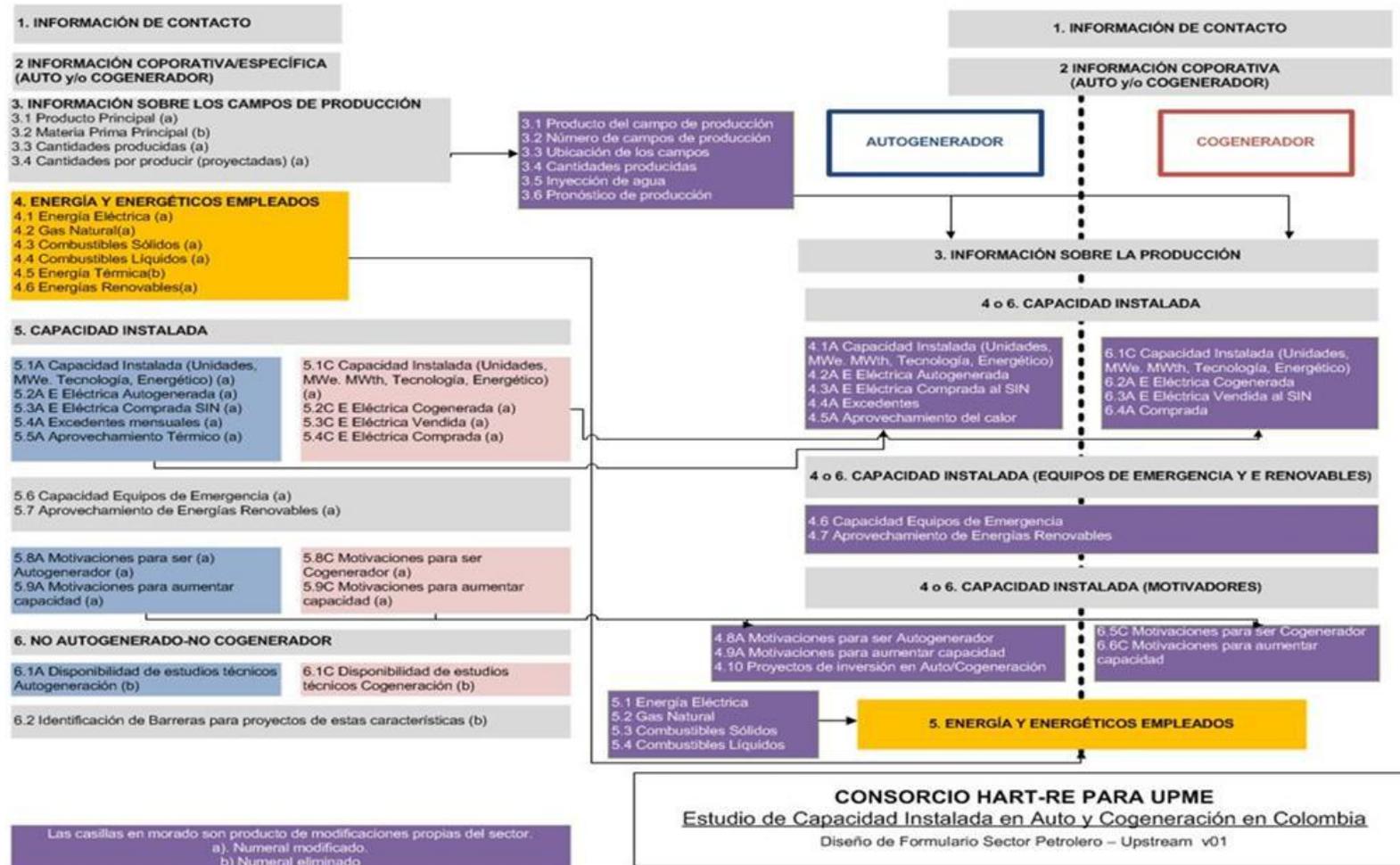
Transporte: La Figura 61 presenta el esquema general del formulario para los agentes responsables de los oleoductos, gasoductos y poliductos del país. La configuración del formulario cambia con respecto al formulario de producción en razón de la necesidad de recopilar información de entrada para conocer la capacidad instalada en autogeneración y su infraestructura en general.

Refinación: En este caso en particular, el formulario retomó la estructura del formulario del sector industrial por la naturaleza de operación de las refinерías. Cabe mencionar que la caracterización energética industrial respecto al CIU Rev. 4., incorpora la actividad de refinación de petróleo con el código 192 en el mismo

grupo, sin embargo el consultor decide excluirlo del sector industrial para efectos de análisis por los motivos expuestos en el numeral 3.1.1. Si bien el contenido del formulario en este sub-sector guarda fidelidad con la estructura general empleada para las unidades manufactureras, se mantiene los mismos criterios empleados en el formulario de producción del sector petróleo en cuanto a cantidades de carga y matriz energética. El formulario de la Figura 62 se diseña esperando recolectar información como agentes de cogeneración dada las características identificadas previamente en los capítulos anteriores.

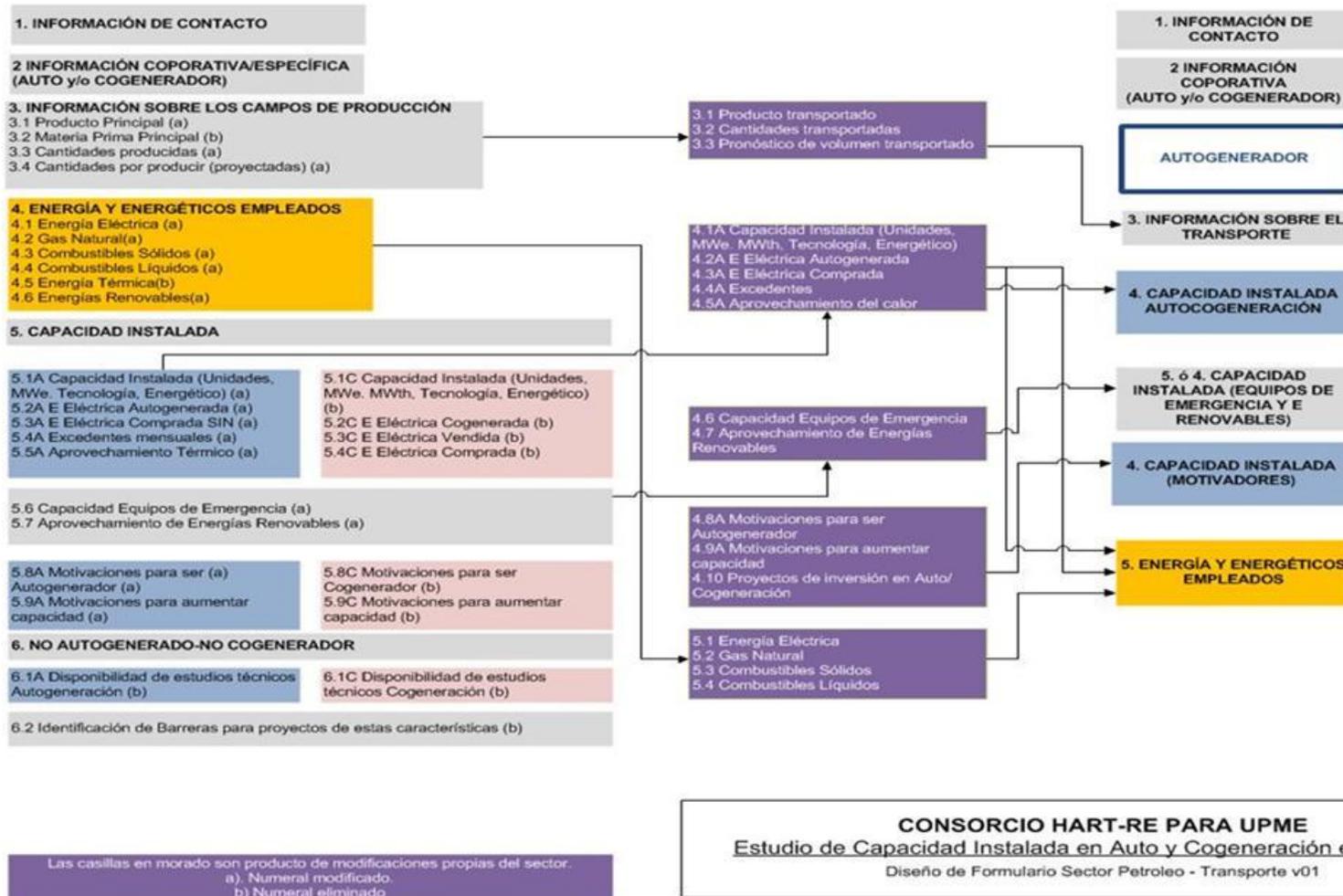
Brindar formularios diferentes a cada agente según su actividad productiva permite ahondar con mayor precisión en la capacidad y el potencial de autogeneración y cogeneración del sector.

Figura 60: Diseño del formulario dinámico para los agentes de producción - Sector petróleo



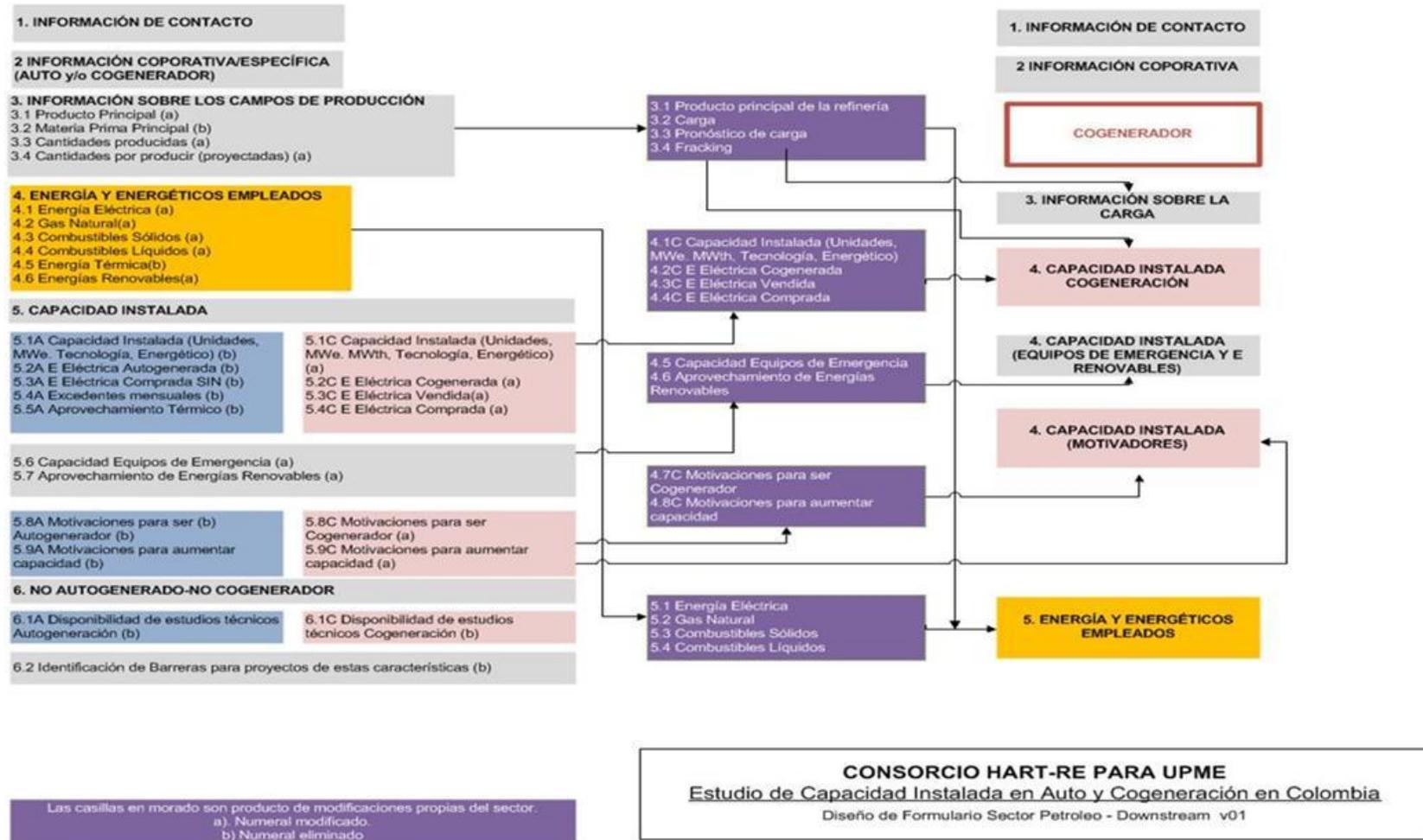
Fuente: Elaboración de la consultoría

Figura 61: Diseño del formulario dinámico para los agentes del transporte - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

Figura 62: Diseño del formulario dinámico para los agentes de la refinación - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

4.2.6.3 Particularidades formulario sector de comercio y público

El formulario de encuesta del sector de comercio y público está diseñado, con el fin de determinar la capacidad instalada y el potencial de cogeneración/autogeneración, para la obtención de información del establecimiento en relación con el consumo de energéticos, la caracterización por usos de energía final y el consumo de energía térmica. Con respecto al potencial de energías renovables, con la finalidad de determinar potencial energético de la biomasa y la energía solar fotovoltaica, indaga sobre los residuos orgánicos y área de construcción; adicionalmente, se identifica si se disponen de estudios previos en la determinación de potencial de energía renovables.

En la Tabla 38 se describen los campos particulares del formulario para dichos sectores así como el objetivo de las preguntas en que ellos se realizan, y el esquema de secuencia para el llenado de la encuesta según el tipo de establecimiento.

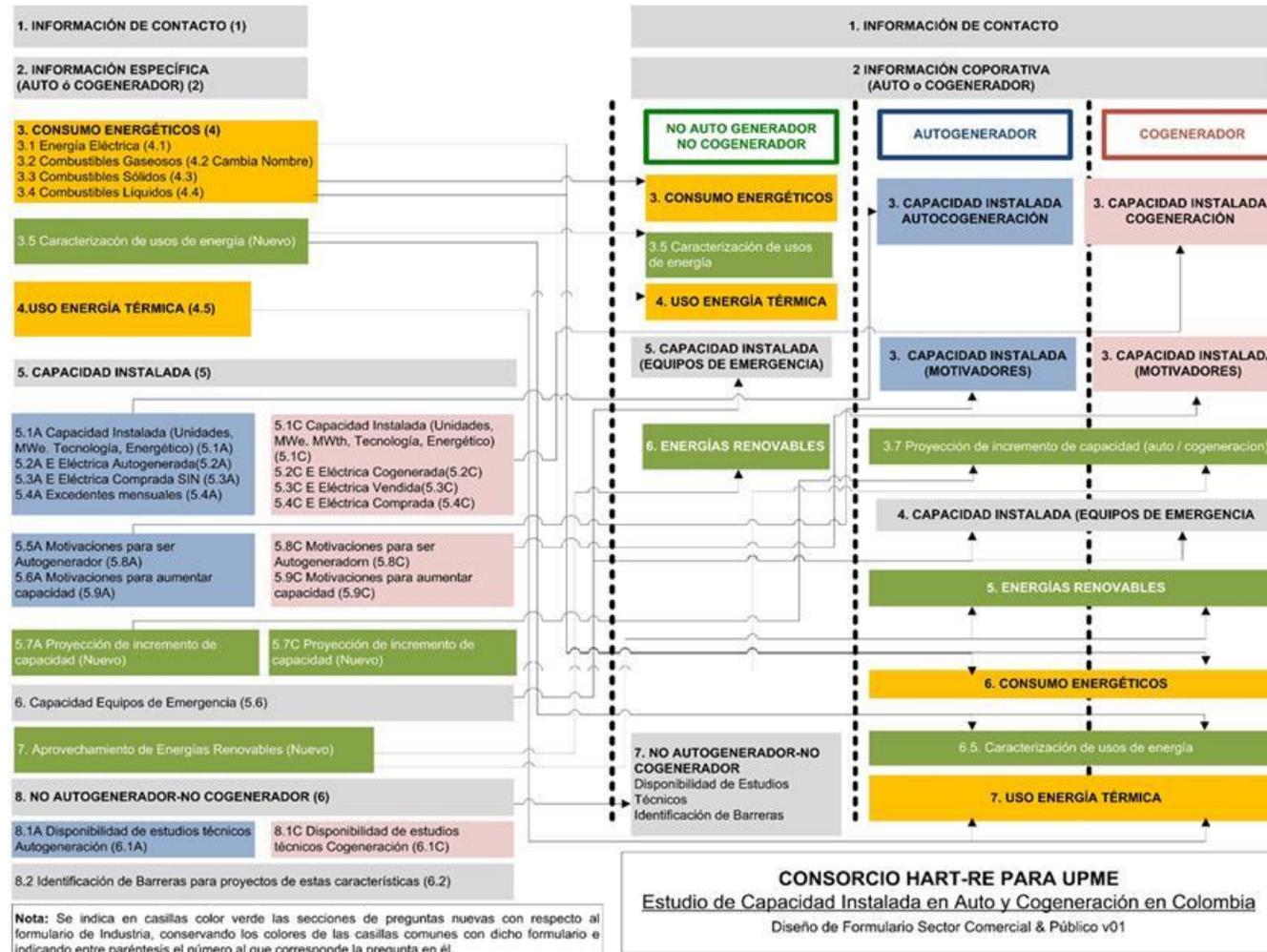
Tabla 38: Descripción del formulario de comercio y público

| Numeral del Formulario | Objetivo |
|--|---|
| 3.5 Caracterización de usos de energía | Identificación de los principales usos energéticos y potencial de cogeneración a partir de ellos: Iluminación, refrigeración, fuerza motriz, equipos de oficina, acondicionamiento de espacios, calor directo, calor indirecto y otros |
| 7. Energías Renovables | Cuantificación de la capacidad y/o potencial de aprovechamiento de energía renovable no convencional como alternativa de atención de la demanda energética actual y/o potencial del Establecimiento / Sede |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente, para mayor comprensión de la estructura del formulario en la Figura 63 se presenta de manera esquemática la secuencia y lógica aplicada para su diligenciamiento.

Figura 63: Diseño del formulario dinámico - Sector de comercio y público



Fuente: Elaboración de la consultoría

4.3 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

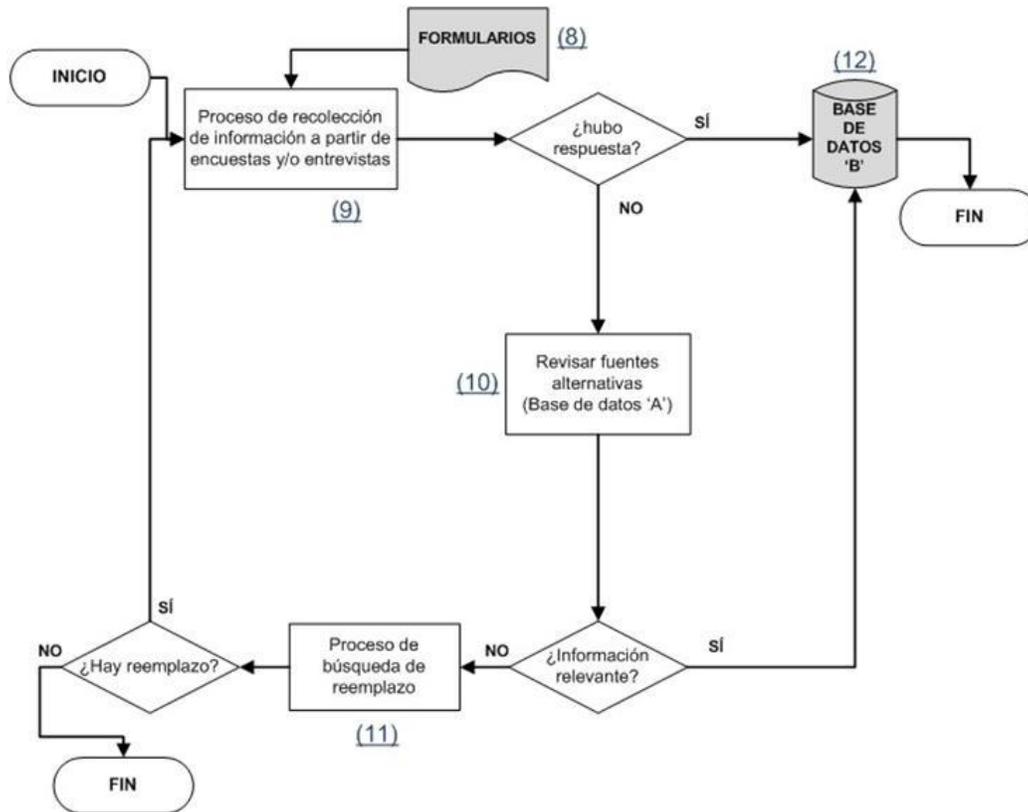
El objetivo principal de este proceso es obtener información directa de los establecimientos identificados en la muestra, verificando que sea confiable y ajustada a la realidad. La información permitirá construir una base de datos para el proceso de análisis y obtención de resultados (Figura 52).

El proceso de recolección de información primaria fue el más arduo y complejo del estudio. Este proceso se inicia buscando algún tipo de contacto con los agentes identificados en la muestra, mediante llamadas telefónicas, correos-e y en algunos casos aprovechando el relacionamiento personal de algunos miembros del equipo de trabajo. El objetivo es identificar la persona que conoce el detalle de la información y obtener toda la información de contacto. Si se logra comunicación personal se debe hacer una sensibilización de la necesidad y entablar un canal de comunicación más directo y dentro de lo posible determinar si pueden clasificarse dentro de las variables del estudio: autogenerador, cogenerador o consumidor puro. Además se le hace conocer el contenido del formulario y se busca brindar todo el apoyo y acompañamiento con disponibilidad permanente para absolver cualquier duda. Luego se procede con una estrategia de seguimiento mediante contacto telefónico y de correos-e ya que para algunos agentes la información solicitada es en algunos casos considerada como estratégica y/o de tipo confidencial y requiere un proceso de aprobación y de autorizaciones internas incierto para el encuestador. Sin embargo como estrategia se deben plantear alternativas que se ajusten al perfil y a la disponibilidad del encuestado, estas son:

- A. Entrevista-encuesta, presencial o vía telefónica
- B. Encuesta mediante correo-e

La primera tiene la ventaja que es administrada por el encuestador y esto hace que sea más sencillo y rápido el desarrollo del formulario; y también la probabilidad de éxito de obtener respuesta es muy alta. La segunda opción es más flexible en cuanto a las ocupaciones y compromisos del encuestado pero por estar dentro del marco voluntario, la probabilidad de conseguir respuesta es incierta. En la siguiente figura se presenta todo el proceso de recolección de información primaria.

Figura 64: Proceso de recolección de información primaria



Fuente: Elaboración de la consultoría

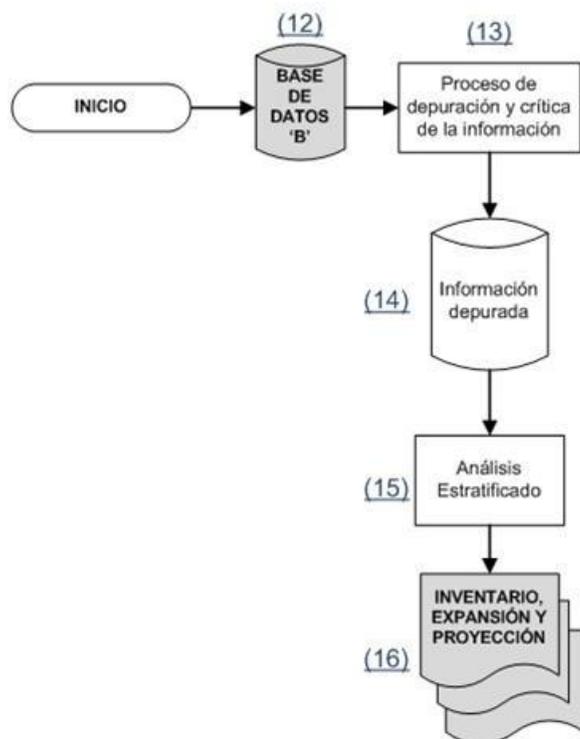
En la Figura 64 se presenta el diagrama esquemático del proceso. Si se obtiene respuesta de los agentes, ésta entra a un proceso de validación y se almacena en una gran base de datos señalada con la letra 'B' Figura 52. Para estos procesos de recopilación de información el tiempo siempre será una limitante, sin embargo paralelamente mientras no hay respuesta se pueden ir examinando información secundaria como alternativa (numeral 10) en la figura anterior de la base de datos señalada con la letra 'A'. Si la información allí contenida es relevante para el objeto del estudio puede ir a alimentar la base de datos principal marcada con la letra 'B' a la espera de ser refrescada con encuestas de origen directo.

En caso de no poseer información relevante se entra en un proceso de búsqueda de reemplazo ver (numeral 11) en la figura anterior, en el cual se busca identificar establecimientos con características similares dentro del estrato original y así iniciar todo el proceso de contacto descrito en el inicio de este apartado. Si no hay reemplazo el proceso culmina allí.

4.4 PROCESO DE ANÁLISIS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

El proceso de análisis y obtención de resultados es presentado a continuación (Ver Figura 65).

Figura 65: Proceso de análisis y obtención de resultados



Fuente: Elaboración de la consultoría

Toda la información suministrada en el formulario y/o complementada por fuentes alternativas es almacenada en la base de datos “B” (numeral 12). Los datos reportados entran en un proceso de depuración y crítica donde se verifica la coherencia de las unidades y las magnitudes (numeral 13). Una vez depurada la información se consolida la base (numeral 14) para análisis donde se determina el comportamiento de la muestra (numeral 15) y para generar el inventario de la muestra, el potencial y la proyección estadística de cada uno de los sectores (numeral 16).

4.5 DIAGNÓSTICO DE LA ESTRATEGIA IMPLEMENTADA

Se mencionan, a continuación, aspectos, que se consideran como inconvenientes, que impactaron el desarrollo de la actividad en la obtención de la información necesaria para la ejecución y cumplimiento de los objetivos.

- No se cuenta con bases de datos estructuradas que permitan aportar las informaciones básicas para poder establecer el universo y las variables de trabajo requeridas para este estudio en particular.
- Las bases de datos abordadas en el estudio difieren sustancialmente en la estructura de los identificadores básico tales como NIT, Nombre o razón social, actividad económica, etc.
- El hecho de no contar con bases de datos estructuradas, implica un arduo trabajo en conseguir la información del contacto adecuado para solicitar la información.
- El diseño de los formularios en principio, contenían la solicitud de un muy amplio conjunto de informaciones. Sin embargo, en la medida que se tuvo contacto con los agentes, se llegó a la conclusión que deben ser lo más sencillos y con los mínimos pedidos.
- En general, los establecimientos se mostraron muy reticentes a aportar la información pues, mucha de ella la consideran como estratégica o confidencial, y en muchas ocasiones, deben acudir a concepto previo del departamento legal.
- Se presentan ciertas quejas del sector de industria en particular, pues evidencian que están atendiendo solicitudes similares en muy cortos periodos de tiempo.
- De manera complementaria a lo anterior, manifiestan que es un desgaste de recursos y que no ven una contraprestación específica o beneficio tangible, con estos pedidos de información y estudios que se adelantan.

A juicio de la consultoría, la superación de todos estos obstáculos son justamente el gran valor agregado al final del proyecto y con éstas lecciones aprendidas, la UPME contará con una metodología que recoja ésta experiencia con una base de datos de la muestra. Esta base de datos contará con información precisa de los

contactos correctos para la campaña de actualización de la información, la cual, consideramos que en ese momento, se podrá hacer en su totalidad vía web.

Como complemento a lo anterior y en relación con la metodología para la actualización periódica de la información sobre autogeneración, cogeneración en los sectores de consumo, industria, terciario y petróleo, como uno de los objetivos del estudio en desarrollo, el consorcio HART- RE considera que la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), se constituye en uno de los mecanismos más eficaces para tal fin; por lo tanto, las iniciativas de la UPME para explorar con el DANE las oportunidades en el marco del memorando de entendimiento que se desarrolla en la mesa interinstitucional con la ANDI, UPME, Ministerios, UN y otros es una muy buena oportunidad.

El inventario reciente realizado por la ANDI a sus afiliados (ANDI, 2014), grandes consumidores y los avances del estudio de consultoría con la UPME son la base para establecer la estructura, tipos de preguntas, periodos, metodología y alcance con el DANE; en consecuencia, es importante para la consultoría participar en forma proactiva en el desarrollo de dicha iniciativa con el propósito de aportar con criterio técnico e información de los resultados de las encuestas y entrevistas de tal forma que se aproveche la estrategia y se amplíe el alcance a todos los sectores de consumo, se definan los aspectos técnicos, los compromisos y de una vez se valide la metodología para la captura y actualización periódica de la información a nivel nacional.

A continuación se hace un análisis sobre las metas trazadas sobre la muestra y los estados de las cifras al momento de hacer el corte en la gestión de información directa.

4.5.1 Diagnóstico sector de industria

Con respecto a la estrategia de recopilación de información el consultor quiere dirigir este análisis en dos sentidos. El primero es sobre la recopilación de información para determinar el universo y la segunda sobre la recopilación de información primaria.

- 108 Elaboración de otros productos alimenticios
- 101 Producción, transformación y conservación de carne y pescado
- 141 Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel

De otro lado la encuesta anual manufacturera indaga sobre la cantidad de energía vendida a la red por parte de sus encuestados. Los sectores resaltados en verde en la siguiente figura son la que reportan venta y los números en la circunferencia negra indican la posición en ventas.

Figura 68: Análisis ventas de energía EAM

| División | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | | |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|--|---|--------------------------|---|--|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---|--|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|---|---|
| | Productos alimenticios | Elaboración de Bebidas | Elaboración de produc tabaco | Fabricación de productos textiles | Confección de prendas de vestir | Cuñido y recortado de cueros, calzado etc | Transformación de madera y fabricación | Fabricación de papel, cartón y prod papel | Actividades de impresión | Coquización, refinación de petróleo y mezcla comb | Fab de Sustancias y productos químicos | Fab. Productos farmacéuticos | Fab. Productos de caucho y plástico | Fab. Productos minerales no metálicos | Fab. De productos metalúrgicos básicos | Fab. Productos elaborados en metal sin maq y equipo | Fab de Productos infor, elec y opticos | Fab. Aparatos y equipo eléctrico | Fab. De maquinaria y equipo n.c.p | Fab. Vehículos automotores, remolques | Fab. Otros equipos de transporte | Fab. De muebles, colchones y somieres | Otras Industrias Manufactureras | Instalación, mto y reparación especializado | | |
| Grupo 1 | | | | | | | 170 | 7 | | | | 210 | | | | | 4 | | | | | | | | 0 | |
| | 101 | 110 | 120 | 131 | 141 | 151 | 161 | 3 | 181 | 191 | 201 | | 221 | 231 | 241 | 251 | 261 | 271 | 281 | 291 | 301 | 311 | 321 | 331 | 1 | |
| | 102 | 6 | | | 142 | 152 | 162 | 3 | 182 | 192 | 202 | 5 | 222 | | 242 | 252 | 262 | 272 | 282 | 292 | 302 | 312 | 322 | 332 | 2 | |
| | 103 | | | | 143 | | 163 | | | 2 | 203 | | | | 243 | | 263 | 273 | 283 | 293 | 303 | | 323 | | 3 | |
| | 104 | | | | | | 164 | | | | | | | | | | 264 | 274 | | 304 | | | 324 | | 4 | |
| | 105 | | | | | | 169 | | | | | | | | | | 265 | 275 | | | | | 325 | | 5 | |
| | 106 | | | | | | | | | | | | | | | | 266 | | | | | | | | 6 | |
| | 107 | | | | | | | | | | | | | | | | 267 | | | | | | | | | 7 |
| | 108 | | | | | | | | | | | | | | | | 268 | | | | | | | | | 8 |
| | 109 | | | 139 | | | | | | | | | | | 239 | 259 | | 279 | | | 309 | | 329 | | | 9 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

A continuación se listan las actividades manufacturera, guardando el orden en cantidad de venta:

- 107 Elaboración de azúcar y panela
- 192 Fabricación de productos de la refinación del petróleo
- 170 Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón
- 271 Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos y de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica
- 202 Fabricación de otros productos químicos
- 110 Elaboración de bebidas
- 181 Actividades de impresión y actividades de servicios relacionados con la impresión

La actividad que se destaca dentro de la EAM es la elaboración de azúcar y panela (grupo 107), claramente los ingenios azucareros. En segundo lugar está el grupo 192 el cual corresponde a la fabricación de productos de la refinación de petróleo. En el tercer puesto está el grupo 170 que corresponde a la fabricación de

papel y cartón, sin embargo dentro de lo reportado figura el grupo 271, el cual al entender del consultor, es una actividad económica que no tiene esa vocación siendo extraño se reporte venta de energía eléctrica.

Por otra parte, a pesar contar con la base de datos **UPME-Enterprise**³⁵, ésta infortunadamente no contiene ningún registro relacionado con consumos de energía eléctrica o consumos de energéticos, las cuales son variables de interés. Sin embargo el consultor hizo varios ejercicios con la información disponible considerando examinar otras variables tales como “valor de propiedad y equipo”³⁶ y bajo ese argumento sectores importantes tales como la elaboración de aceites y grasas (grupo 103) y la fundición de metales (grupo 243) quedaban sin representación.

La base de datos obtenida del **Sistema Único de Información (SUI)** contiene algunos consumos de energía, pero el proceso de identificación de los usuarios es supremamente engorroso.

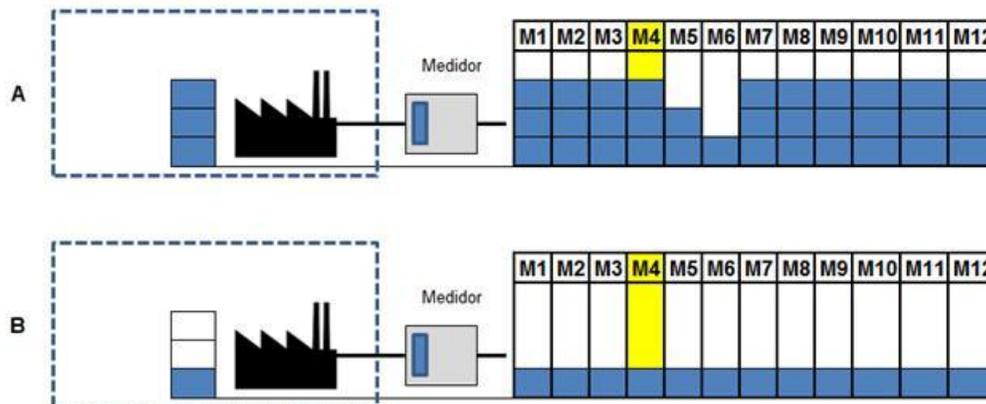
Por último la base de datos de consumos de energía de XM de usuarios no regulados permite examinar la cantidad de energía eléctrica consumida mes a mes por establecimiento lo cual es muy valioso para los propósitos del estudio. Haciendo un riguroso ordenamiento de la información y luego una revisión sencilla de la misma pueden identificarse comportamientos o patrones de consumo de energía eléctrica particulares los cuales se resumen en cuatro casos ilustrados y descritos a continuación.

Se parte de la base que todos los establecimientos son consumidores puros y algunos establecimientos demandan mayor cantidad de energía eléctrica que otros (ver caso A y caso B).

³⁵ Esta base de datos contiene registros de productores con aproximadamente 83.000 registros a partir de información reportada por Cámaras de Comercio con información de ventas, valor de activos etc.

³⁶ Se hace claridad que este Valor que es tomado del Balance General de las Empresas, puede verse afectado significativamente por la Depreciación de tipo contable que debe efectuarse siguiendo las normas que rigen esta práctica.

Figura 69: Consumidor energía eléctrica - Caso A y Caso B

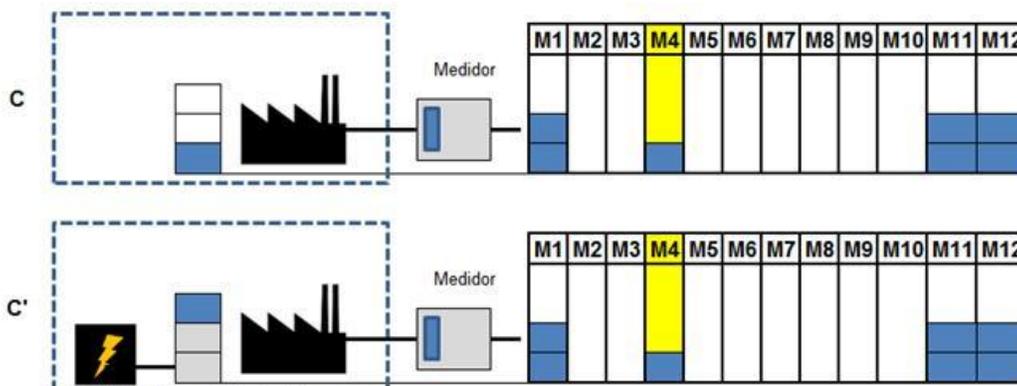


Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Figura 69 puede observarse que el Consumidor A, mantiene un consumo de energía homogéneo casi todo el año pero existen meses en los cuales el consumo decae por motivos desconocidos. Por su parte el Consumidor B, tiene un consumo estable pero es inferior al Consumidor A en el mes cuatro (4). Vale la pena anotar que el recuadro punteado en la figura indica que toda la información contenida allí, antes de iniciar el proceso de recolección de información directa con cada uno de los establecimientos, es completamente desconocida y al respecto sólo se puede plantear varias hipótesis.

Otro caso que puede observarse es cuando el consumidor tiene consumos de energía eléctrica en algunos meses del año pero en otros no hay consumo y estos parecen esporádicos, este es el Caso C (Ver Figura 70). Este comportamiento es extraño dentro de cualquier establecimiento si se asumiera que en todo el año debe haber producción. Al respecto comienza a delinearse una posible hipótesis la cual consiste en plantear que posiblemente en dicho establecimiento tengan procesos de autogeneración o cogeneración, ver siguiente figura.

Figura 70: Consumidor energía eléctrica - Caso C

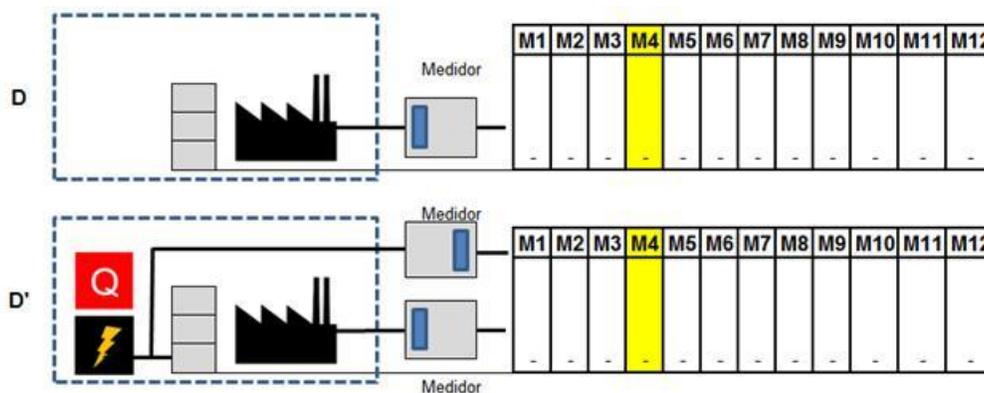


Fuente: Elaboración de la consultoría

Este proceso aparentemente permite atender su propia demanda algunos meses y en otros requiere el respaldo del Sistema Eléctrico Nacional.

Otro caso visto en la base de datos XM de usuarios no regulados, son establecimientos de empresas muy reconocidas, pero que no registran consumos significativos en todo el periodo, pero si es conocido que tienen una producción estable de marcas reconocidas. Este es el Caso D y la hipótesis en este caso será la existencia de procesos de cogeneración dentro de sus instalaciones, que permiten atender toda su demanda e incluso la venta de excedentes al Sistema Eléctrico colombiano, este caso es típico en los ingenios azucareros.

Figura 71: Consumidor energía eléctrica - Caso D.



Fuente: Elaboración de la consultoría

Bajo estas circunstancias y las hipótesis planteadas arriba obligan a plantear una nueva hipótesis la cual se deriva del caso B, en el cual pueden existir

establecimientos que tienen consumos estables a lo largo del año pero son pequeños de acuerdo a sus características y por lo tanto podrían tener en operación procesos de cogeneración o autogeneración que no alcanzan a cubrir su demanda y tienen el respaldo de la red (ver Figura 72).

Figura 72: Consumidor energía eléctrica - Caso B.



Fuente: Elaboración de la consultoría

Considerando estos casos y la confiabilidad de la información contenida en la base de datos de usuarios no regulados de XM, es evidente que fue ésta la fuente de información más adecuada para determinar el universo y posteriormente la muestra aleatoria. La encuesta es entonces la herramienta para validar si las hipótesis planteadas son correctas para cada uno de los casos.

4.5.1.2 Diagnóstico sobre la recopilación de información primaria

Entre las barreras y dificultades encontradas durante este proceso en el sector de industria el consultor hace una breve lista de las razones por las cuales era bastante difícil lograr la entrevista o encuesta

- Algunos establecimientos manifestaron estar en auditorías de sistemas de gestión.
- Un gran porcentaje de la muestra (casi un 95%) aún no cuenta con una persona con perfil de gestor energético dentro de la organización por lo cual la recolección de información debe hacerse con personas con cargos afines a las áreas de mantenimiento o producción.
- Con base en el punto anterior, contar con la disponibilidad de tiempo del Jefe de Planta o Mantenimiento para el diligenciamiento del formulario pasa a ser un tema supeditado a la prioridad y obligaciones del momento.
- Las personas contactadas argumentaban tener paradas de planta por temas relacionados con el mantenimiento o emergencias en producción.

- En el contexto industrial había algo de desinformación y confusión ya anteriormente se desarrollaron estudios que requieren información similar por parte de la UPME y para estos agentes no era claro la necesidad de volver a suministrar dicha información. Incluso algunos establecimientos manifestaron no recibir retroalimentación de proyectos realizados anteriormente, lo cual dificultó aún más el acercamiento con éstas.
- Otro punto bien importante es el proceso interno de aprobación ya que por las característica de la información al interior de cada establecimiento se cree es estratégica o confidencial (p. ej. cantidades de producción). Se inicia un proceso interno de aprobaciones y análisis del departamento jurídico que alargan mucho los tiempos de respuesta.

4.5.2 Diagnóstico sector petróleo

La información en general, provino del contacto con los siguientes actores:

- Información primaria: empresas operadores (Producción, Transporte, Refinación)
- Información secundaria: UPME, Ministerio de Minas, gremios del sector, proveedores de sistemas de potencia y profesionales el sector.

Las experiencias en la recolección de información se resumen en los siguientes comentarios:

- La solicitud oficial a empresas con contratos de asociación arrojó resultados parciales causados en buena parte por la complejidad al interior de dichas empresas. No obstante, se logró recolectar la información básica requerida por el estudio, complementada con información de profesionales del sector e información secundaria. Sorprende la falta de información centralizada sobre disposición de equipos de potencia, capacidades instaladas, etc.
- En cuanto a operadores privados, fue bastante común la interposición de argumentos de confidencialidad para no brindar la información, no obstante hubo casos en los que se encontró disposición para colaborar y se atendieron las entrevistas. Se aprovechó la vía virtual y/o telefónica para las entrevistas con los profesionales encargados. En el caso específico de los campos de producción, los profesionales de las facilidades abrieron un

espacio en la agenda en días no tan congestionados (sábados, domingos) para el diligenciamiento de las encuestas.

- Se encontró muy buena colaboración al interior de la UPME para poner a disposición del estudio, información relevante que podría aportar datos de interés para el mismo. De manera similar, es importante resaltar el papel de la UPME haciendo la labor de adelantar el contacto oficial en aquellos casos que ciertas empresas así lo exigían.
- Se encontró información valiosa en algunos gremios, como ACP y ACIPET que sirvieron como fuente para algunas secciones o capítulos.
- Se lograron contactar, entre fuentes primarias y secundarias, 22 establecimientos que brindaron 45 encuestas distribuidas entre agentes de producción, transporte, refinación y proveedores de tecnologías. La cifra de encuestas superó notablemente el tamaño de la muestra (24) señalada en la Tabla 34. En los casos que se identificaron estaciones de bombeo y campos de producción de la misma propiedad, fue necesario generar varios formularios para el mismo establecimiento teniendo como parámetro de clasificación la posición geográfica del punto de consumo. La Tabla 39 consigna la totalidad de las encuestas realizadas en el sector y su correspondiente ubicación dentro de las etapas de la cadena productiva. De igual manera, se identifica la fuente mediante la cual se obtuvo la información para las estimaciones.

Tabla 39: Descripción de las fuentes de información del sector petróleo

| Sector | N° Encuestas | Tipo de información |
|----------------------|--------------|-----------------------|
| Producción | 21 | Primaria |
| Transporte | 16 | Primaria |
| Refinación | 2 | Primaria |
| Otros | 6 | Primaria y secundaria |
| Total general | 45 | - |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Para los procesos de actualización de la información del estudio, se recomienda:

- Incorporar en los contratos (ANH- Operadores) cláusulas que permitan a los entes del estado solicitar información para estudios de beneficio común

para todos los actores, como en el caso actual, bajo estrictas reservas de confidencialidad

- Establecer convenios de recolección de información con los operadores, eliminando su reserva frente a la utilización de la información.
- Estudiar casos como el de Canadá, donde el CAPP³⁷, compuesta por más de 150 empresas, estableció, para recolectar información sobre emisiones, el *CAPP, Global Climate Change Voluntary Challenge and Registry*, en el que todas las empresas aportan información y recursos para el logro de los objetivos propuestos. Valga aclarar que éste es una iniciativa que puede tomar años de esfuerzo, mientras se genera la cultura en tal sentido.

4.5.3 Diagnóstico sector de comercio, público, hoteles y hospitales

A pesar de que en general, los inconvenientes son muy similares, a continuación se presentan las diversas dificultades encontradas por el equipo del proyecto que acometió la tarea de levantamiento de información para el sector de comercio.

- En el proceso de contacto del responsable técnico de la entidad que en general correspondía con los jefes o directores de mantenimiento de las entidades y establecimientos se logró eficacia e interlocución; sin embargo, el trámite de autorización por parte del áreas de jurídica de las entidades resulto ser una barrera que no se logró vencer ocasionando pérdidas de tiempo y enfriamiento de la interlocución.
- En otros casos se manifestó desconocimiento y falta de interés por ser un tema que aún no lo consideran importante en la operación o en los planes estratégicos o de inversión en los establecimientos.
- El carácter voluntario de la encuesta y el desconocimiento de la UPME como entidad de planeación en temas de energía y específicamente en eficiencia y fuentes renovables, no despertó mayor interés en responder las encuestas.
- El desconocimiento de los nuevos contextos con la ley 1715/2014 y de las oportunidades de la cogeneración en los impacto en la productividad en las instalaciones; como también, la desinformación de las tecnologías y

³⁷ *Canadian Association of Petroleum Producers*

potenciales para el aprovechamiento de las fuentes renovables reflejaban desinterés por parte de los responsables del tema de energía en las entidades.

- En el sector de comercio por ejemplo, el inconveniente fue la obtención de la autorización por parte de la dirección o departamento jurídico para el diligenciamiento de la encuesta, pese a enviarse incluso cartas físicas dirigidas al encargado de dichos temas y continuo seguimiento.
- En el sector de hospitales la dificultad principal fue el lograr el interés a colaborar con la encuesta, luego de varios correos y/o llamadas telefónicas simplemente no se podía volver a hacer contacto con la persona encargada.
- En el sector de hoteles en cambio se manifestó interés en colaborar y atender la visita o el diligenciamiento de la encuesta vía mail, al igual que en el sector público.

Por otro parte, por criterio técnico de experto teniendo en cuenta el consumo energético, necesidades de continuidad y calidad del servicio, así como el área disponible (como posible potencial en renovables), se decidió realizar contacto para el diligenciamiento de la encuesta en algunos de los principales centros comerciales, lográndose valiosa información de 4 de los más grandes e importantes de ellos, especialmente en cuanto a las capacidades de plantas de respaldo y posibilidades de implementación de proyectos de energía renovables.

Como recomendación general, es importante revisar el período en el cual se va a contactar a los establecimientos para la actualización de la información, debido a que los meses de noviembre (finales) y diciembre (inicios) la mayoría de ellas (especialmente el sector de comercio y público) están en cierre de año y definición de presupuestos para el siguiente año, por lo cual no se tiene la disposición de tiempo para atender una solicitud de información externa que requiere de cierta dedicación de tiempo para la recopilación de datos. Aunque ésta recomendación es muy específica pues el equipo de trabajo tuvo que afrontar esta situación de coincidencia. Pareciera que esta recomendación se cae por su peso, pero se ha considerado prudente consignarla.

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS DE CAPACIDAD INSTALADA, EXCEDENTES Y OTROS RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es presentar los principales resultados del inventario de la capacidad instalada en autogeneración, cogeneración y equipos de emergencia en cada uno de los sectores de interés del estudio. También se presentan las capacidades instaladas en equipos de respaldo y equipos de aprovechamiento de energías renovables a nivel de muestra. Se describe la situación actual en cuanto a disponibilidad de excedentes de energía eléctrica y otros resultados que se consideran muy importantes a partir de la información recopilada en las encuestas.

5.1 INVENTARIO DE AUTOGENERACIÓN

Los resultados de inventario de autogeneración muestran que la mayor capacidad instalada en el país la posee el sector petróleo cuya participación es de 80,3% del total registrado más adelante. A continuación se presentan los resultados para cada uno de los sectores objeto del estudio.

5.1.1 Autogeneración sector de industria

Una vez consolidada toda la información valiosa y obtenida mediante el proceso de recolección de información sobre la muestra seleccionada del sector de industria, se procedió a ejecutar metodológicamente criterios y consideraciones estadísticas para la obtención de resultados a nivel de universo.

5.1.1.1 Estimaciones de valores poblacionales y factores de expansión

Uno de los objetivos del estudio consiste en estimar la capacidad total de la autogeneración, cogeneración y capacidad de equipos de emergencia con que cuenta el país. Para estos efectos, a continuación se ilustra el procedimiento de cálculo de las estimaciones de dichos totales y medias poblacionales.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el modelo de muestreo no es autoponderado (como ocurre con los modelos de asignación proporcional al tamaño del estrato), las estimaciones se realizan tomando en cuenta e independientemente cada estrato así:

- La fracción de muestreo correspondiente a cada estrato corresponde al tamaño de muestra logrado en el estrato dividido por la población de elementos en el correspondiente estrato (industrias, establecimientos comerciales o públicos).
- El factor de expansión para estimaciones derivadas del total de la muestra corresponde al inverso de la fracción de muestreo.

Los factores de expansión se emplean en las ponderaciones de la siguiente manera:

$$X = \frac{\sum FE_i Y_i}{\sum FE_i}$$

Dónde:

FE_i : es el factor de expansión del estrato i , por ejemplo para el estrato MG-AI³⁸. es de 1,1 (ver Tabla 40)

Y_i : es la media calculada para el estrato i ; por ejemplo la capacidad media instalada en autogeneración para el estrato MG-AI

Los factores de expansión para el sector de industria se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 40: Factores de expansión y fracciones de muestreo

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Tamaño de la muestra ³⁹ | Tamaño del universo | Fracción de muestreo | Factor de expansión |
|------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| TP ≥ 2 (MG) | Altamente intensivo | 69 | 74 | 0,9 | 1,1 |
| | Medianamente intensivo | 44 | 46 | 1,0 | 1,0 |

³⁸ Para efectos de facilidad se tienen las siguientes definiciones equivalentes para tamaño de planta TP ≥ 2MW: MG-Muy grande; 1 ≤ TP <2 MW: G:-Grande; ½ ≤ TP <1 MW: M-Mediano; TP <½ MW: P- Pequeño.

Y en cuanto a intensidad de consumo de energía (intensidad energética) se tiene las siguientes definiciones equivalentes: AI: Altamente Intensivo, I: Intensivo, PI: Poco Intensivo

³⁹ El tamaño de la muestra aumentó, debido a que se emplearon fuentes de información adicionales para enriquecer la calidad de los promedios y mejorar los estimativos estadísticos (ver 3.2.3)

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Tamaño de la muestra ³⁹ | Tamaño del universo | Fracción de muestreo | Factor de expansión |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | Poco intensivo | 4 | 5 | 0,8 | 1,3 |
| $1 \leq TP < 2$ (G) | Altamente intensivo | 15 | 47 | 0,3 | 3,1 |
| | Medianamente intensivo | 18 | 64 | 0,3 | 3,6 |
| | Poco intensivo | 5 | 13 | 0,4 | 2,6 |
| $\frac{1}{2} \leq TP < 1$ (M) | Altamente intensivo | 11 | 58 | 0,2 | 5,3 |
| | Medianamente intensivo | 17 | 136 | 0,1 | 8,0 |
| | Poco intensivo | 5 | 23 | 0,2 | 4,6 |
| $TP < \frac{1}{2}$ (P) | Altamente intensivo | 9 | 501 | 0,0 | 55,7 |
| | Medianamente intensivo | 17 | 936 | 0,0 | 55,1 |
| | Poco intensivo | 16 | 203 | 0,08 | 12,7 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Para estimaciones de dominios o subgrupos (autogeneradores, cogeneradores, consumidores puros etc.) de la población se sigue el siguiente procedimiento:

- Se estima el tamaño del subgrupo correspondiente tomando como referencia los elementos con la característica presente en la muestra (ser autogenerador, ser cogenerador etc.) con la cual se estima la proporción de elementos presentes en la muestra. Por ejemplo, en estrato MG-AI se tiene una muestra de 69 establecimientos, se tiene que 15 de ellos son autogeneradores, 16 son cogeneradores y 38 son consumidores puros, por lo tanto las proporciones son 23,2%, 21,7% y 55,1% respectivamente.
- La proporción anterior es un estimador insesgado de la proporción poblacional y por tanto basta ponderar el número de elementos de la población total por dicha proporción estimada para así obtener un estimador del tamaño del subgrupo en la población. Por ejemplo, en estrato MG-AI se tiene una población de 74 establecimientos y según las proporciones obtenidas en el muestreo, se puede estimar que 16 son autogeneradores, 17 son cogeneradores y 41 son consumidores puros.
- Con base en los elementos con la característica presente en la muestra se estima la media muestral deseada y se multiplica por el tamaño estimado del

subgrupo obteniéndose así a nivel de estrato una estimación del total poblacional en dicho estrato en el subgrupo correspondiente. Por ejemplo, en el estrato MG-AI cada individuo tiene una capacidad instalada media en autogeneración de 12,9 MW, por lo tanto, si hay 15 autogeneradores, la capacidad instalada en autogeneración para este estrato es 207.

- Finalmente, la suma a través de estratos conduce a una estimación del total poblacional, ver Tabla 41.

5.1.1.2 Resultados del inventario de autogeneración del sector de industria

Aplicando los lineamientos establecidos en la sección anterior, en la Tabla 41 se ilustra la estimación del total de capacidad de autogeneración.

Tabla 41: Resultados del inventario de autogeneración para el sector de industria

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Proporción de autogeneradores por estrato | N° estimado de autogeneradores en el universo | Capacidad instalada media por autogenerador [MW] | Estimado de la capacidad instalada en autogeneración [MW] |
|------------------------|------------------------|---|---|--|---|
| TP ≥ 2 (MG) | Altamente intensivo | 21% | 16 | 12,9 | 207 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 25% | 1 | 2,0 | 2 |
| 1 ≤ TP < 2 (G) | Altamente intensivo | 7,1% | 3 | 4,6 | 14 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| ½ ≤ TP < 1 (M) | Altamente intensivo | 20% | 11 | 1,0 | 11 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| TP < ½ (P) | Altamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Medianamente intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| | Poco intensivo | 0% | 0 | 0,0 | 0 |
| Total | | | 31 | 3,3 | 234 |

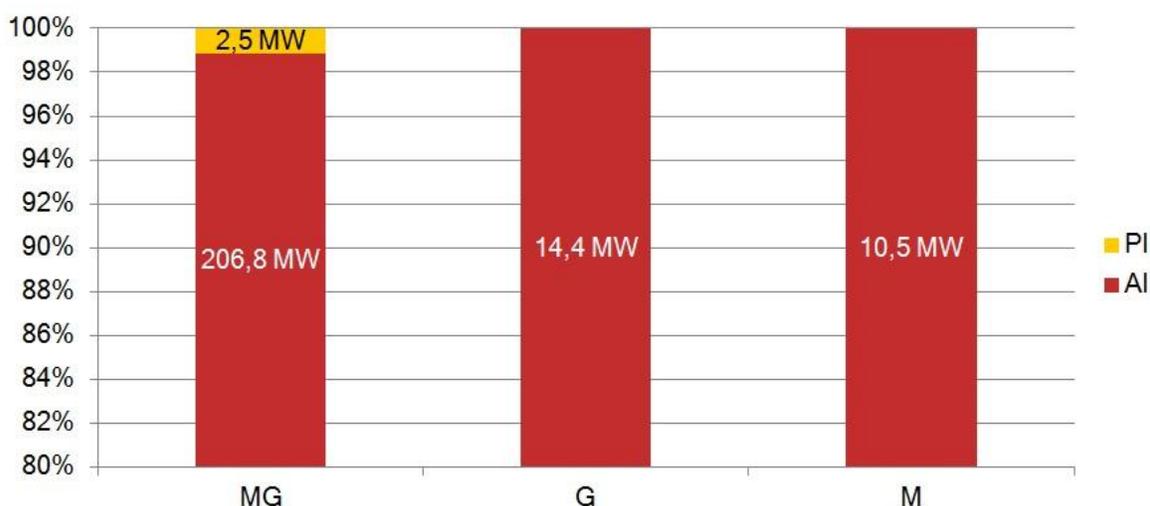
Fuente: Elaboración de la consultoría

Como se puede observar de la tabla los resultados consolidado para el sector de industria alcanza la cifra de 234 MWe.

5.1.1.3 Análisis complementarios de los resultados de autogeneración sector de industria

Dado que la Figura 73 se obtuvo mediante un procedimiento de expansión estadística, resulta importante reportar cifras normalizadas que permitan visualizar la estimación la capacidad de autogeneración considerando el tamaño de planta y la intensidad de consumo de energía de cada unidad manufacturera.

Figura 73: Resultados en autogeneración por estrato - Sector de industria

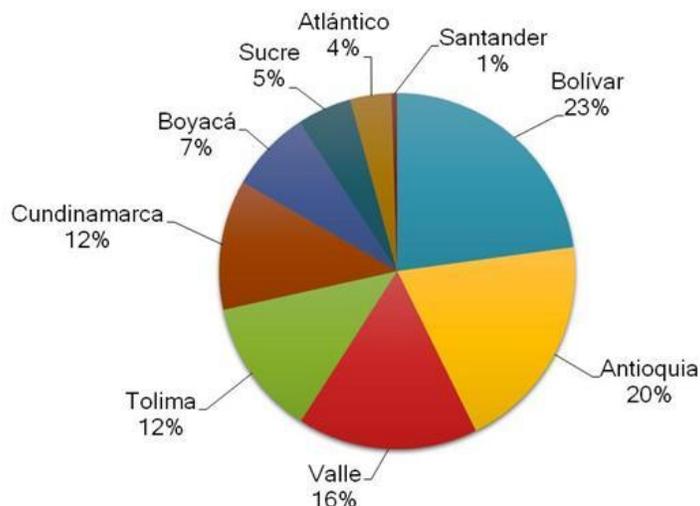


Fuente: Elaboración de la consultoría

La mayor capacidad instalada de autogeneración se encuentra en el estrato MG-AI con 206,8 MWe lo cual corresponde al 88,3% del total de capacidad instalada. Se identifica una pequeña participación del estrato MG-PI con 2,5 MWe (equivalente al 1% del total), el estrato MG-MI no cuenta con ninguna participación. Adicionalmente, el estrato G-AI aporta 14,4 MWe lo cual es aproximadamente el 6% y el estrato M-AI con 10,5 MWe aporta el 4,4% del total. Vale la pena resaltar que en el grupo MG-I no reportan capacidad instalada en autogeneración.

Los estratos P-AI, P-MI y P-PI no reportan ninguna capacidad instalada en autogeneración.

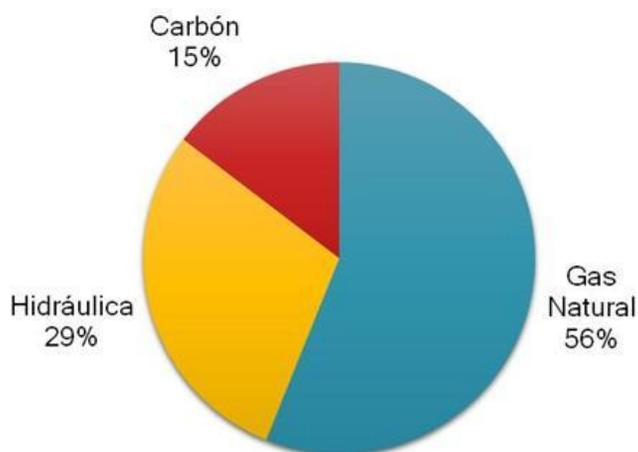
Figura 74: Resultados en autogeneración por área geográfica - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

Con base en la Figura 74, los departamentos de Bolívar, Antioquia y Valle son los que cuentan con mayor capacidad instalada de autogeneración alcanzando casi el 60% del total. De acuerdo con la información obtenida de los principales establecimientos, una de las principales razones que motivaron la instalación de autogeneración está relacionada con asegurar confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.

Figura 75: Resultados en autogeneración por fuente energética primaria - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

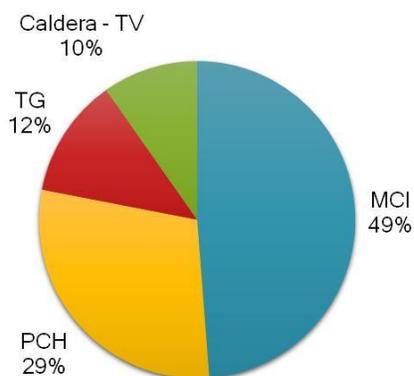
El combustible con mayor penetración para los procesos de autogeneración es el gas natural con una participación del 56%, la energía hidráulica por su parte tiene un 29%. En un tercer renglón se encuentra el carbón con un 15% empleado dentro de los procesos de autogeneración reportados a nivel de muestra final. Esta situación se explica seguramente por el plan de masificación de gas natural que inició hace más de veinte años.

De otro lado cabe resaltar que el carbón es más económico que el gas natural, pero éste genera más costos en la operación. Entre estos costos se encuentran instalaciones que permitan cumplir con la normatividad ambiental debido a que el carbón genera material particulado, y una mayor cantidad de emisiones. Además de esto, en la combustión del carbón se generan cenizas que incurren en un costo adicional para la disposición final de las mismas.

Por otro lado entre los consumidores de gas natural existe cierta incertidumbre relacionada con el suministro de éste, por lo cual se está a la espera de la situación del sector petróleo en términos de precio y disponibilidad.

La hidráulica (ver Figura 75) posee un porcentaje importante en la autogeneración (29%), pero este energético está determinado por la ubicación geográfica del establecimiento, las que lo poseen se encuentran cerca de una fuente hídrica y aprovechan su potencial. Es el energético más amigable ambientalmente, pero es difícil el acceso a éste para toda la industria colombiana.

Figura 76: Resultados en autogeneración por tecnología - Sector de industria



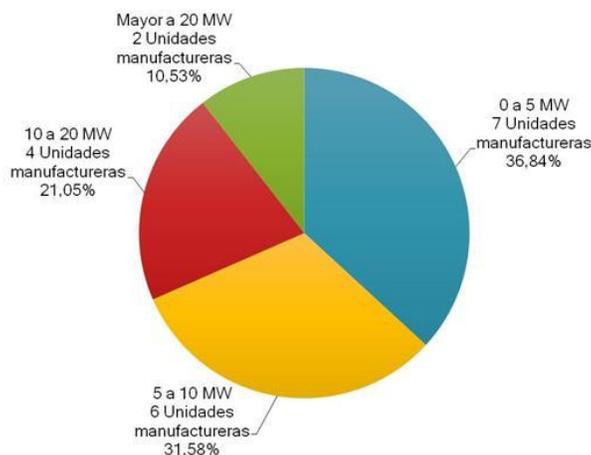
Fuente: Elaboración de la consultoría

Con base a la anterior, la tecnología más utilizada para la autogeneración son los motores de combustión interna (MCI) con un 49%, esto permite ver que existe un potencial para que algunos autogeneradores se conviertan en cogeneradores con el aprovechamiento de los gases de combustión por ejemplo.

Además el porcentaje de las pequeñas centrales hidroeléctricas-PCH (29%), deja ver que existe un buen aprovechamiento de éste recurso renovable en la industria. Por su parte la Turbina de Gas (TG) posee un 12% de incidencia en la muestra final y el sistema de vapor (caldera y turbina de vapor) con un 10% respectivamente.

La siguiente figura permite examinar la capacidad de las plantas de autogeneración encontradas en la industria donde se encuentra una distribución bastante uniforme excepto en el caso de las plantas grandes donde solo el 10% es mayor a 20 MW.

Figura 77: Resultados en autogeneración por magnitud de los equipos instalados - Sector de industria



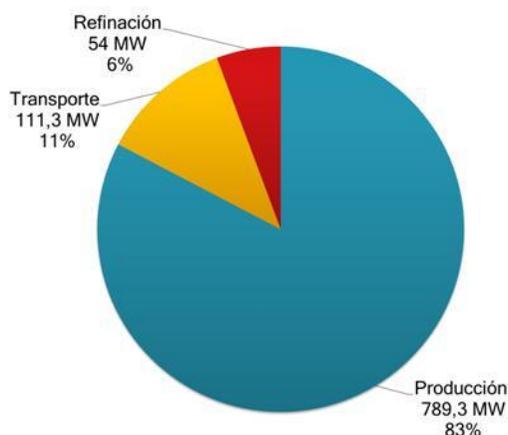
Fuente: Elaboración de la consultoría

5.1.2 Autogeneración sector petróleo

A partir de la información recolectada de los encuestados, se estimó la desagregación de los 955 MW de autogeneración registrados en el sector. Se puede observar que el área de producción aporta la mayor capacidad con el 82,7% (789 MW), transporte aporta el 11,7% (111 MW) y refinación una cifra, que aunque

importante, en valor absoluto, resulta ser una participación baja con el 5,7% (54 MW), ver Figura 78.

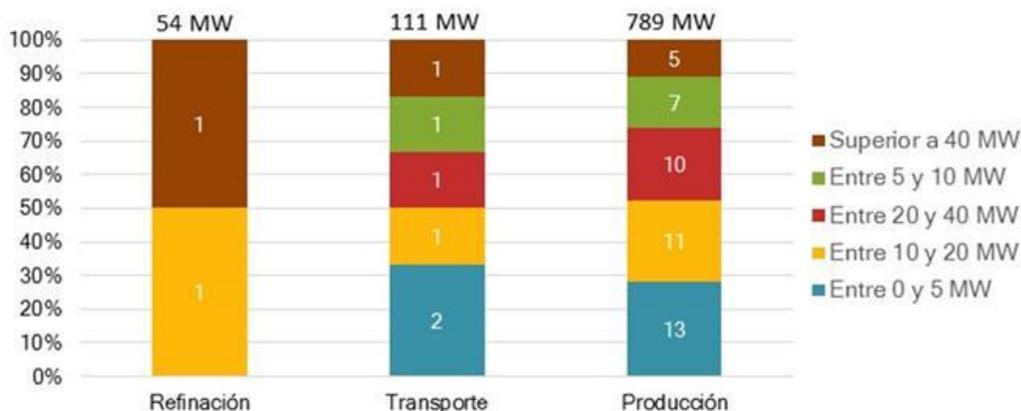
Figura 78: Resultados en autogeneración por etapa en la cadena productiva - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

Ahora bien, si se examina esta capacidad de autogeneración por establecimiento, se encuentran las participaciones que se consignan en la figura siguiente. Se puede corroborar que dos empresas de producción de crudo concentran casi el 80% de la autogeneración del sector petróleo.

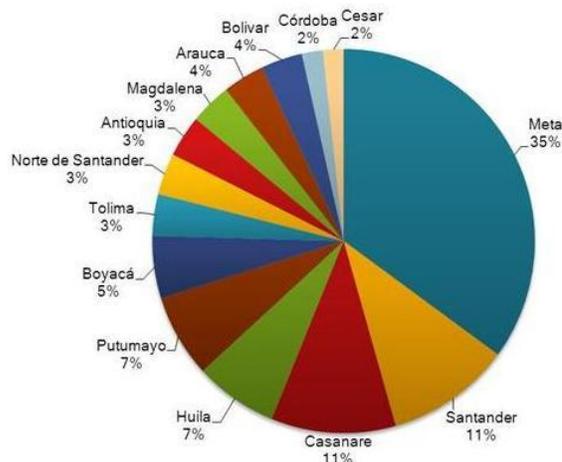
Figura 79: Resultados en autogeneración por establecimientos en la cadena productiva - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

Es un hecho que los Llanos Orientales se han convertido en la región del renacimiento de la industria petrolera en Colombia y la Figura 80 lo ratifica, con una participación del 50% (correspondiente a 477,5 MW), distribuida entre los departamentos del Meta, Casanare y Arauca.

Figura 80: Resultados en autogeneración por área geográfica - Sector petróleo

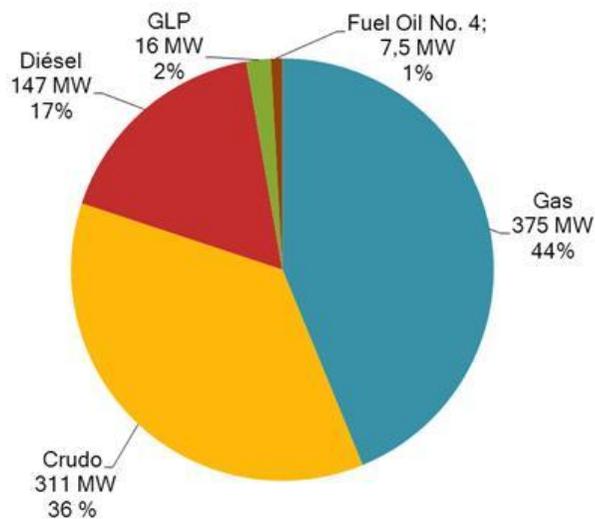


Fuente: Elaboración de la consultoría

El restante 20% se distribuye entre varios departamentos, siendo los más importantes, Santander (11%; 105 MW), Huila (7%; 66,9 MW), Putumayo (7%; 66,9 MW).

En la Figura 81 se presenta la participación de los energéticos primarios en la autogeneración, identificándose el uso notorio del gas natural (44%) en toda la actividad petrolera. El uso del diésel en el 17% de la autogeneración, sugiere la utilización de equipos instalados para actividades de *Prime Power* y respaldo. En la actualidad, otros energéticos están empezando a ser usados para propósitos de autogeneración, tal como ocurre en uno de los campos de un operador, que ocupa el 35,5% de la producción nacional, teniendo instalados 16 MW en equipos MCI (Motores de combustión interna) accionados con GLP (Gas licuado de petróleo).

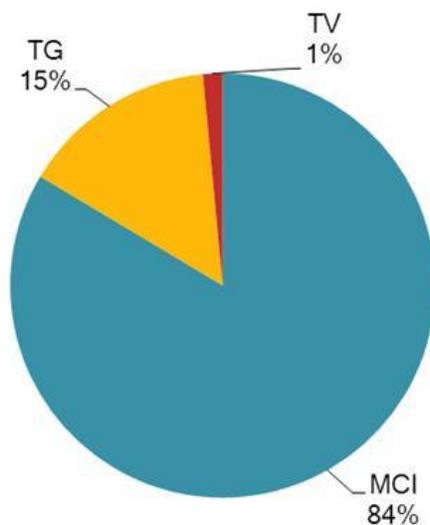
Figura 81: Resultados en autogeneración por fuente energética primaria - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

Con respecto a los agregados de autogeneración por tecnologías de la Figura 82, el 84% de la potencia de autogeneración proviene de tecnología MCI (Motores de Combustión Interna), el 15% de TG (turbinas a gas) y el 1% restante a TV (Turbinas de vapor).

Figura 82: Resultados en autogeneración por tecnología - Sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

5.1.3 Autogeneración sector de comercio

De acuerdo con los resultados de la encuesta, la totalidad de los establecimientos del sector de comercio manifestaron no tener ninguna capacidad instalada de autogeneración. Una de las justificaciones de mayor relevancia está relacionado con el criterio financiero para la selección de proyectos de inversión con períodos de retorno no mayor a 2 años; por lo cual, dichos proyectos son descartados.

El desconocimiento de nuevas tecnologías y debilidades para la estructuración de proyectos energéticos y desconocimiento de la regulación del mercado eléctrico también han incidido en la nula capacidad instalada.

5.1.4 Autogeneración sector público

De los 34 establecimientos de entidades públicas encuestadas, el 100% manifestaron no disponer de capacidad instalada de autogeneración por razones de falta de asignación presupuestal a éste tipo de proyectos.

Los únicos establecimientos (por fuera de la muestra) identificados con autogeneración fueron dos bases de la Fuerza Aérea ubicados en las Zonas No Interconectadas-ZNI con una capacidad de 2,7 MW y 1,4 MW para un total de 4,1 MW.

5.1.5 Autogeneración sector hoteles y hospitales

Los 15 establecimientos encuestados manifestaron no tener capacidad instalada de autogeneración de energía, justificado por el desconocimiento de tecnologías y oportunidades, alta inversión y períodos altos de retorno de la inversión para este tipo de proyectos.

5.2 INVENTARIO DE COGENERACIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para la cogeneración en los diferentes sectores, anticipando que los principales resultados se tienen en el sector de industria y petróleo.

5.2.1 Cogeneración sector de industria

Siguiendo los mismos criterios metodológicos empleados para el cálculo del inventario de autogeneración a partir del análisis estadístico de la muestra y sus

parámetros de expansión a la población, la tabla siguiente presenta la estimación del inventario de la Cogeneración para el sector de industria.

Tabla 42: Resultados del inventario de cogeneración para el sector industria

| Tamaño medio de planta | Intensidad | Proporción de cogeneradores por estrato | N° estimado de cogeneradores en el universo | Capacidad instalada media por cogenerador [MW] | Estimado de la capacidad instalada en cogeneración [MW] |
|------------------------|------------|---|---|--|---|
| TP ≥ 2 (MG) | Alta | 23,2 % | 17 | 14,4 | 247,5 |
| | Media | 34,1 % | 16 | 20,4 | 319,1 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 ≤ TP <2 (G) | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 22,2 % | 14 | 1,4 | 20 |
| | Poca | 20,0 % | 3 | 1,8 | 4,6 |
| ½ ≤ TP <1 (M) | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 5,9 % | 8 | 0,8 | 6 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TP <½ (P) | Alta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Media | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Poca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | | | 58 | 3,2 | 596,7 |

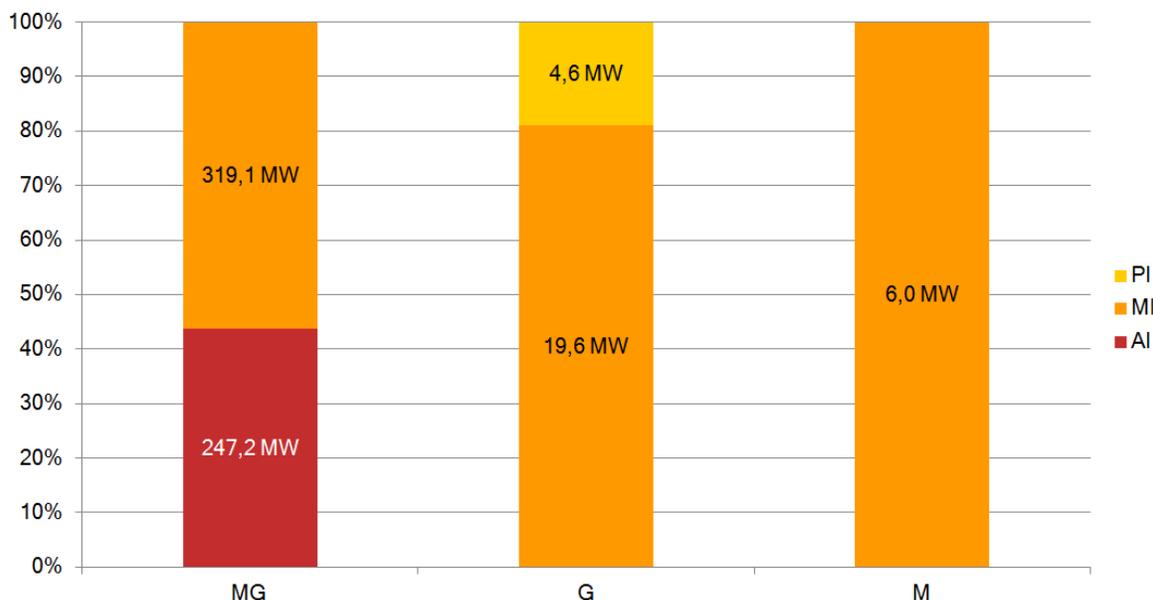
Fuente: Elaboración de la consultoría

Como se puede observar la cifra de capacidad instalada total de cogeneración en el sector de industria alcanza prácticamente los 597 MWe.

A continuación se hace análisis e interpretación de los resultados arrojados en cuanto al inventario de cogeneración y que a juicio del consultor es pertinente mostrar.

La Figura 83 presenta los resultados del inventario considerando principalmente los establecimientos clasificados por tamaño de planta (MG, G, M) que reportan algún tipo de capacidad instalada en el universo. El tamaño de planta (P) no reporta ningún valor.

Figura 83: Resultados en cogeneración por estrato - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En la figura anterior se observa que en el criterio de tamaño de planta MG se ubica el 98% de la capacidad instalada en cogeneración y dentro de él, el estrato MG-AI aporta 247,5 MWe y el MG-MI aporta 319 MWe. Puede interpretarse que este comportamiento se debe principalmente a que en ese último estrato habita el CIU Rev.4 107, elaboración de azúcar y panela⁴⁰.

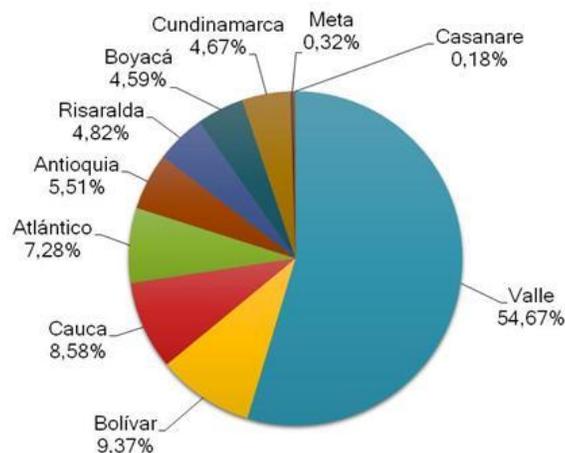
De otro lado y considerando el criterio tamaño de planta G, la capacidad instalada ubicada allí es del orden de 24,6 MWe (4,1% del total) repartida en los estratos G-MI y G-PI con 20 MWe y 4,6 MWe respectivamente siendo evidente que el mayor aporte lo hacen los medianamente intensivos con cerca del 81%.

Por su parte para el tamaño de planta M la capacidad instalada es de 6 MWe (1% del total) y está totalmente dominada por el estrato M-MI.

Si bien la mayor capacidad instalada en cogeneración fue detectada en los establecimientos con el mismo tamaño de planta en dos intensidades diferentes, los establecimientos con las capacidades más bajas son de tamaños diferentes.

⁴⁰ Según cifras entregadas por parte de ASOCAÑA la capacidad total instalada de sus asociados es de 206 MWe (cifras de 2014).

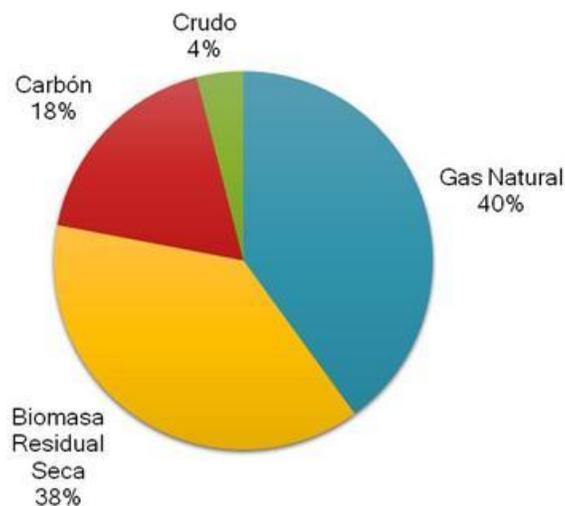
Figura 84: Resultados en cogeneración por área geográfica - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

La mayor participación en la capacidad instalada por cogeneración (Ver Figura 84) se encuentra asentada principalmente en la región del Valle (54,6%), el resto del porcentaje de la muestra (45,4%) está distribuido en los demás departamentos del país.

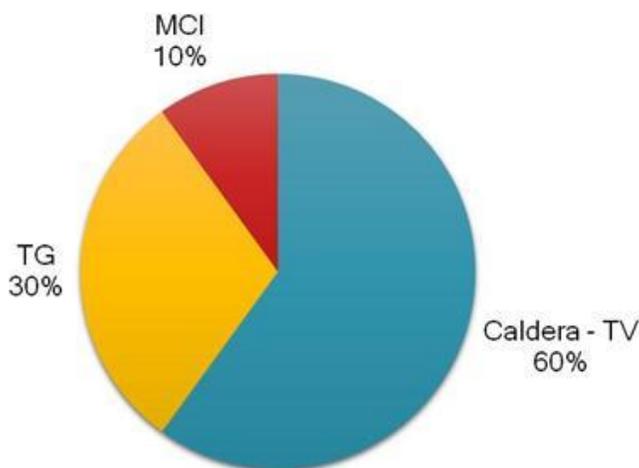
Figura 85: Resultados en cogeneración por fuente energética primaria - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

A nivel de muestra se aprecia en la Figura 85 una proporción casi equivalente entre las principales fuentes energéticas primarias, gas natural (40%) y biomasa residual (38%). El restante del porcentaje se divide en carbón (18%) y crudo (4%).

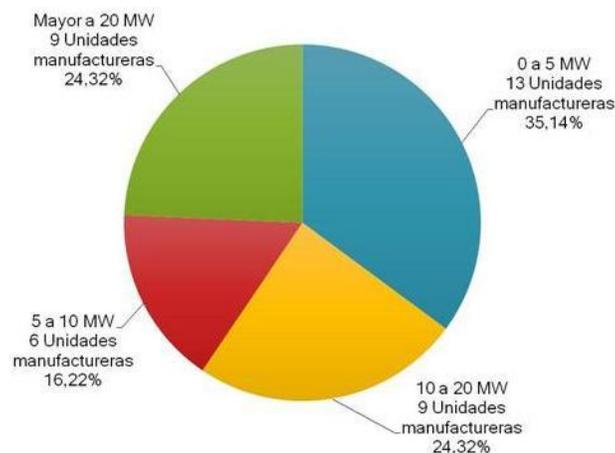
Figura 86: Resultados en cogeneración por tecnología - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En las tecnologías utilizadas para la cogeneración se puede visualizar, como se representa en la figura anterior, que la mayor parte del porcentaje se encuentra en ciclos de caldera y turbina de vapor con un 60%, seguido de turbina de gas con 30% y, por último, los motores de combustión interna con un 10%. Las proporciones son establecidas de acuerdo a la capacidad instalada por tecnología en la muestra estadística.

Figura 87: Resultados en cogeneración por magnitud de los equipos instalados - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En la anterior se observa que el tamaño de las plantas está bastante distribuido y sorprende encontrar un 35% ubicado en el rango de 0 a 5 MWe, dadas las características de alto costo de las plantas de cogeneración de dicho rango.

Adicionalmente se puede apreciar la escala de la cogeneración en Colombia, ya que los tamaños de planta mayores a 20MW corresponden al 16% de las unidades manufactureras encontradas como cogeneradores en el estudio. En este porcentaje se encuentran los procesos de cogeneración que emplean tecnologías con rendimientos eléctricos siguiendo estándares ISO de aproximadamente el 43% (GARCÍA & FRAILE, 2008)), es decir, un alto porcentaje de la cogeneración se da con rendimientos bajos (menores al 35%).

5.2.2 Cogeneración sector petróleo

Los agregados de la cogeneración identificados en el inventario, muestran que en el sector de petróleo del país sólo se cogenera en una etapa de la cadena correspondiente a las refinerías. No se tuvo referencia alguna de cogeneración en producción ni en el área de transporte.

Similar a lo identificado para el sector de industria caso 'D' (ver Figura 71), los ingenios azucareros y las refinerías son consumidores de energía eléctrica, donde los procesos de cogeneración les permiten atender su demanda e incluso vender

excedentes al sistema eléctrico nacional así no registren en la base de XM, consumos significativos en todo el periodo.

La capacidad total de cogeneración en este sector se identificó tan sólo en dos refinерías, los cuales participan como agregados de la cogeneración con el 53% y 47 %. Esos establecimientos procesan prácticamente el 100% de la carga de crudo en el país.

Los resultados de cogeneración en el área de refinación así como algunos datos adicionales, se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43: Capacidad instalada en establecimientos de refinación - Sector petróleo

| No. | Área Geográfica | Fuente energética primaria | Capacidad instalada [MW] | Tecnología |
|-----|-----------------|----------------------------|--------------------------|------------|
| 1 | Bolívar | Gas | 45 | Caldera-TV |
| 2 | Santander | Gas | 106 | Caldera-TV |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Para la cogeneración la distribución geográfica se ubica en los departamentos de Santander (70%) y Bolívar (30%) y en ambos casos el energético utilizado para la cogeneración es en un 100% gas natural y las tecnologías implementadas corresponde a turbinas de vapor (TV).

5.2.3 Cogeneración sector de comercio

La totalidad de los establecimientos comerciales encuestados manifestaron no tener proyectos de cogeneración de energía ni proyectos de éste tipo a futuro, principalmente por los altos periodos de retorno de la inversión ya que buscan tener retornos iguales o menores a dos años, así como por las dificultades con las empresas de energía, comercializadores y operadores de red de la región para obtener el contrato de energía de respaldo, entre otros aspectos.

5.2.4 Cogeneración sector público

En los 34 establecimientos de las entidades públicas encuestadas se detectó que en ninguna de ellas dispone de capacidad instalada de cogeneración de energía, principalmente por dificultades de asignación presupuestal para la inversión en éste tipo de proyectos así como por el desconocimiento de oportunidades de cogeneración.

5.2.5 Cogeneración sector hoteles y hospitales

Los establecimientos de los sectores de hoteles y hospitales, manifestaron no tener capacidad instalada de cogeneración de energía.

Solamente, se tiene conocimiento del proyecto de cogeneración en un hotel en la Costa Caribe, con una inversión de una empresa externa a partir de enero de 2016 en un esquema comercial por terceros en donde la empresa externa instalaría en un espacio asignado por el hotel los equipos necesarios para la generación de energía con un tecnología que está aún por definir y el hotel le compraría la energía al tiempo que firma contrato de respaldo con la comercializadora de energía.

5.3 RESULTADOS SOBRE EXCEDENTES

Aunado al inventario de capacidad instalada de autogeneración y cogeneración está el concepto de los excedentes que pueden ser entregados al SIN. Esta sección presenta un análisis de este tema a luz de los resultados de las encuestas y algunas informaciones disponibles en el sector.

5.3.1 Excedentes de autogeneración

Dada el marco legal vigente, los aerogeneradores tenían prohibido la venta de excedentes al SIN. A pesar de que la Ley 1715 de 2014 fue promulgada en mayo, su falta de reglamentación ha impedido que los autogenerados con excedentes (de existir) los hayan podido vender. Sin embargo, se deriva de este estudio que los establecimientos encuestados que reportaron ser aerogeneradores, informaron no estar interesados en vender excedentes a la red.

5.3.2 Excedentes de cogeneración

En el caso de la cogeneración, el sector de industria es el único que en las encuestas hechas en el estudio informó ventas al SIN, en particular dentro de los siguientes códigos CIIU Rev.4:

107: Elaboración de azúcar y panela

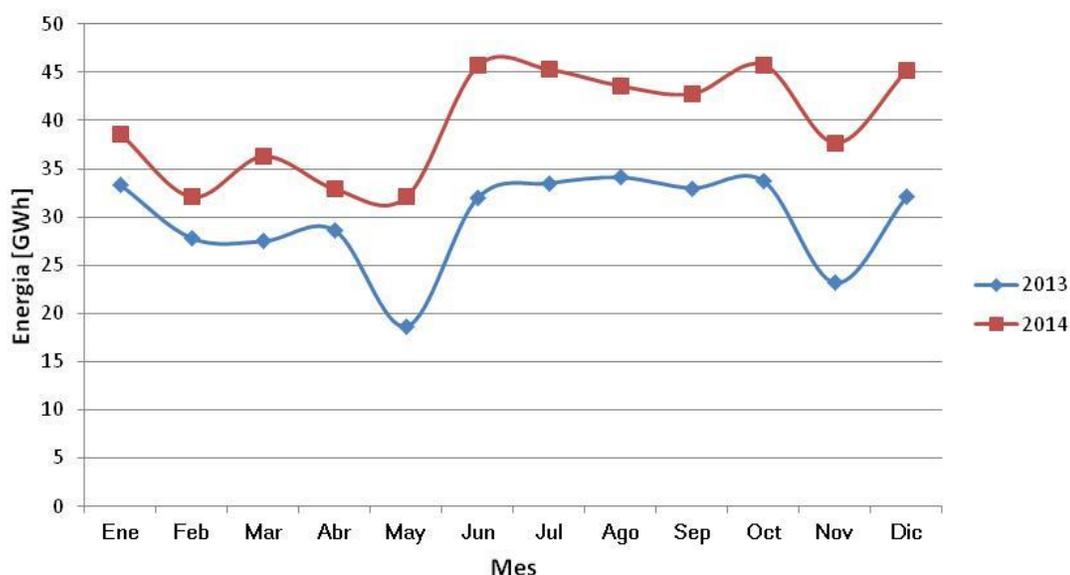
131: Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles

170: Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón

De otra parte la capacidad disponible actual para ventas al SIN de los cogeneradores registrados en XM es de 77,3 MWe⁴¹, y las actividades manufactureras allí reportadas aquí coinciden plenamente con las encuestas.

La Figura 88 presenta la energía mensual cogenerada vendida al SIN para los años 2013 y 2014.

Figura 88: Generación mensual real entregada al SIN por los cogeneradores habilitados para ventas-Años 2013 y 2014



Fuente: XM

En la figura anterior se aprecia un comportamiento estacional aproximadamente coincidente con la definición regulatoria de invierno-verano.

De otra parte, los demás establecimientos que reportaron tener capacidad instalada de cogeneración, informaron no haber vendido excedentes durante 2013

103: Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal

108: Elaboración de otros productos alimenticios

110: Elaboración de bebidas

139: Fabricación de otros productos textiles

162: Fabricación de hojas de madera para enchapado y tableros contrachapados etc.

⁴¹ Fuente: página web de XM, diciembre de 2014.

- 170: Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón
- 201: Fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánico
- 210: Fabricación productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales botánica
- 241: Industrias básicas de hierro y de acero

5.4 RESULTADOS DE EQUIPOS DE EMERGENCIA, DE RESPALDO Y RENOVABLES

La UPME tenía especial interés en conocer la capacidad instalada en plantas de emergencia en cada uno de los sectores. Sin embargo de acuerdo con la información obtenida en las encuestas se hizo necesario hacer una separación⁴² entre las cifras que correspondían a equipos de emergencia y equipos de respaldo de acuerdo con las definiciones señaladas en este informe. Lo anterior fue el resultado del proceso de análisis y crítica de la información recolectada previo a su procesamiento.

Es importante aclarar que los equipos de emergencia tuvieron un tratamiento estadístico similar al de autogeneración y cogeneración a nivel de inventario y las cifras reportadas para equipos de respaldo y capacidad instalada en FNCE son cifras extraídas directamente sobre la muestra final y no tuvieron ningún tipo de expansión.

5.4.1 Sector de industria

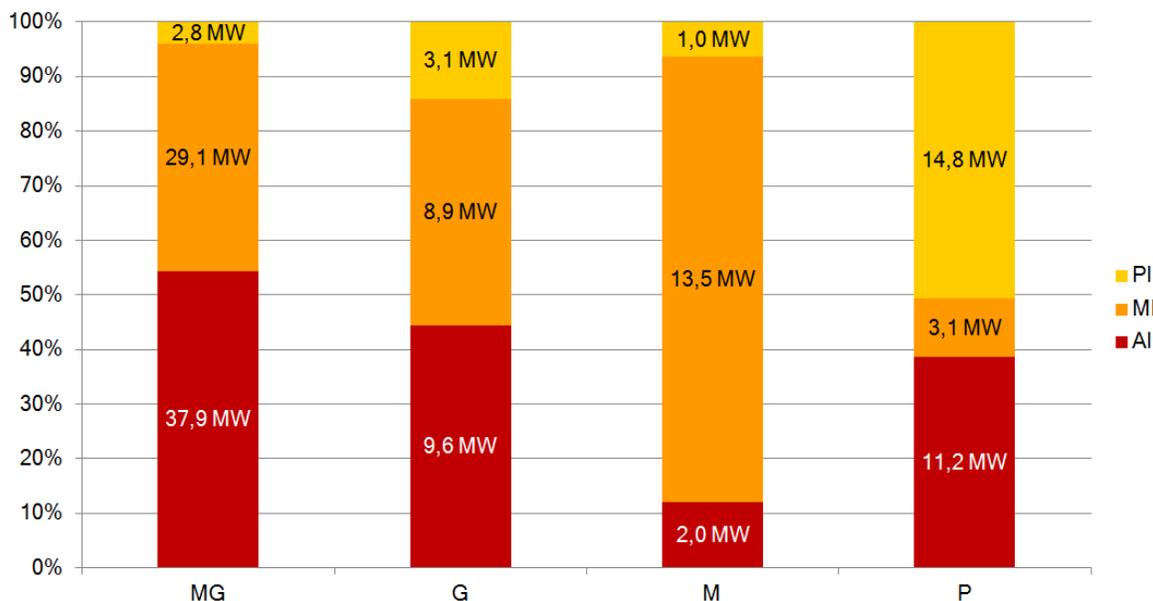
A continuación se presenta la gráfica de la distribución de la capacidad instalada en **equipos de emergencia** por estrato para el sector de industria donde el total es cercano a 136,4 MW. La Figura 89 se obtuvo mediante un procedimiento de expansión estadística similar al empleado en el cálculo del inventario en autogeneración y cogeneración. El uso de equipos de emergencia es evidente en todos los estratos del sector siendo el estrato M-MI el de mayor participación con equipos de 13 MW.

Si bien no se detectó capacidad instalada de cogeneración y autogeneración en estratos con tamaños de planta inferiores a 0,5 MW, los consumidores puros

⁴² El consultor pudo percibir que en los sectores existe confusión en las definiciones de los equipos

requieren disponer de estos equipos de capacidades semejantes y hasta superiores a los reportados por los otros estratos.

Figura 89: Capacidad instalada en equipos de emergencia por estrato - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

La capacidad de equipos de respaldo es de 77,1 MW y en cuanto a aprovechamiento de FNCE es de 8,5 MW. Estas últimas cifras son tomadas directamente de la muestra, no se realizó expansión debido a que no se considera pertinente hacerlo⁴³.

5.4.2 Sector petróleo

Como se puede observar, las cifras de autogeneración y cogeneración se complementan con los valores correspondientes a capacidades encontradas de emergencia, respaldo y energías renovables bajo la tecnología solar fotovoltaica. Se presentan en la Tabla 44, los resultados para el sector petróleo.

⁴³ Los casos de energías renovables que se presentaron son poco representativos para realizar la estimación. En cuanto a la capacidad en equipos de respaldo se presentó la misma situación, adicionalmente, el modelo estadístico está construido para cumplir con los objetivos de inventario)

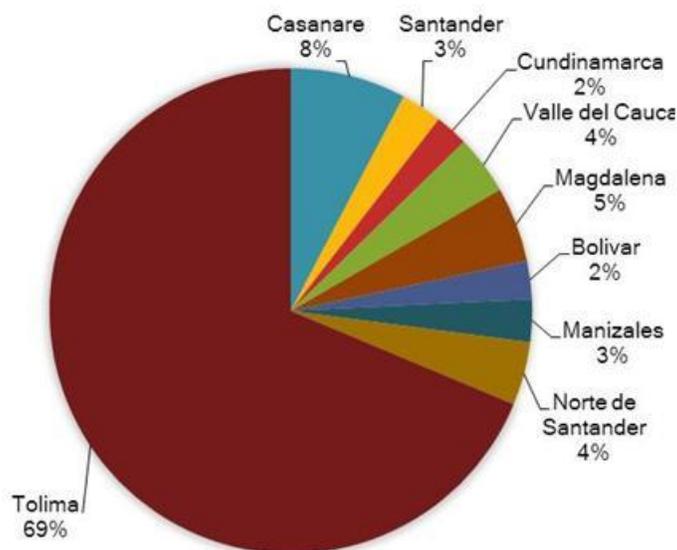
Tabla 44: Resultados en energías renovables, equipos de respaldo y emergencia [MW] - Sector petróleo.

| Etapa de la cadena | Energías renovables | Respaldo | Capacidad de emergencia |
|--------------------|---------------------|--------------|-------------------------|
| Producción | 0,49 | 101,3 | 2,0 |
| Transporte | 0 | 1,7 | 2,3 |
| Refinación | 0 | 0 | 0 |
| Total | 0,49 | 103,0 | 4,3 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

El volumen de establecimientos que reportaron energías renovables fue marginal, sin embargo, uno de los proveedores consultados suministró información que permite concluir que la capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos no superan los 0,5 MW.

Figura 90: Resultados energías renovables por departamentos - Sector petróleo



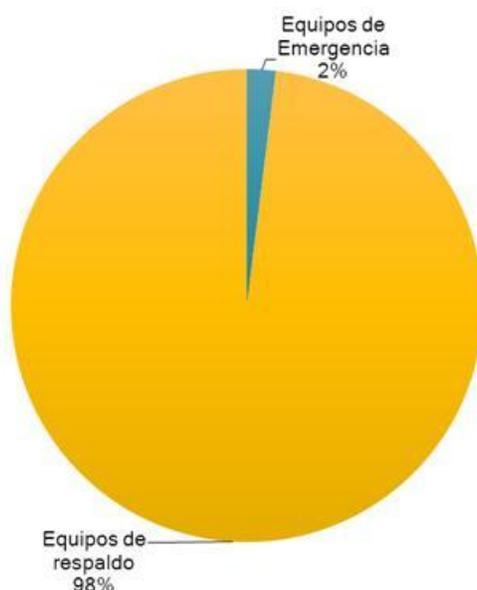
Fuente: Elaboración de la consultoría

La potencia instalada en energías renovables se ubica principalmente en el departamento del Tolima como se muestra en la Figura 90. Estos equipos son principalmente utilizados para alimentación de sistemas de comunicaciones en ubicaciones remotas.

Ahora bien, dada la filosofía de operación del sector, donde la confiabilidad es uno de los principales criterios para el dimensionamiento de sus fuentes de suministro

de energía, se encontró una gran capacidad de respaldo que corresponden a aquellos equipos instalados para suministrar potencia eléctrica de gran capacidad y por largos periodos de tiempo ante ausencia de la fuente principal (por ejemplo, la red pública).

Figura 91: Resultados capacidad de respaldo vs capacidad de emergencia - Sector petróleo



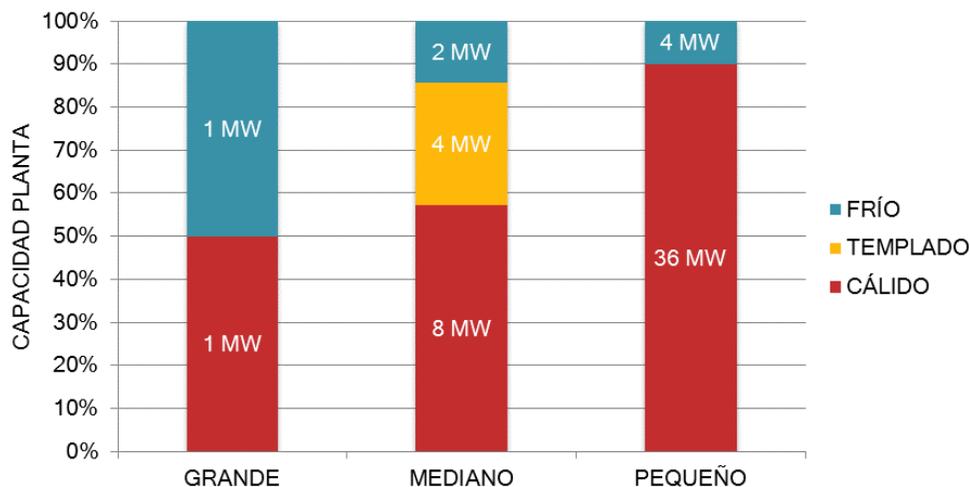
Fuente: Elaboración de la consultoría

La Figura 91 compara la contribución de los equipos de respaldo y las plantas de emergencia con una capacidad instalada del orden de los 101,3 MW y 4,3 MW, respectivamente.

5.4.3 Sector de comercio

Con respecto a la capacidad instalada en plantas de emergencia en éste sector, al realizar la expansión de los resultados obtenidos con las encuestas al universo del sector, se obtiene una capacidad aproximada de 56MW (distribuidas en las 192 establecimientos del universo); tal como se observa en la Figura 92, en donde el piso térmico cálido presenta la mayor capacidad (45MW).

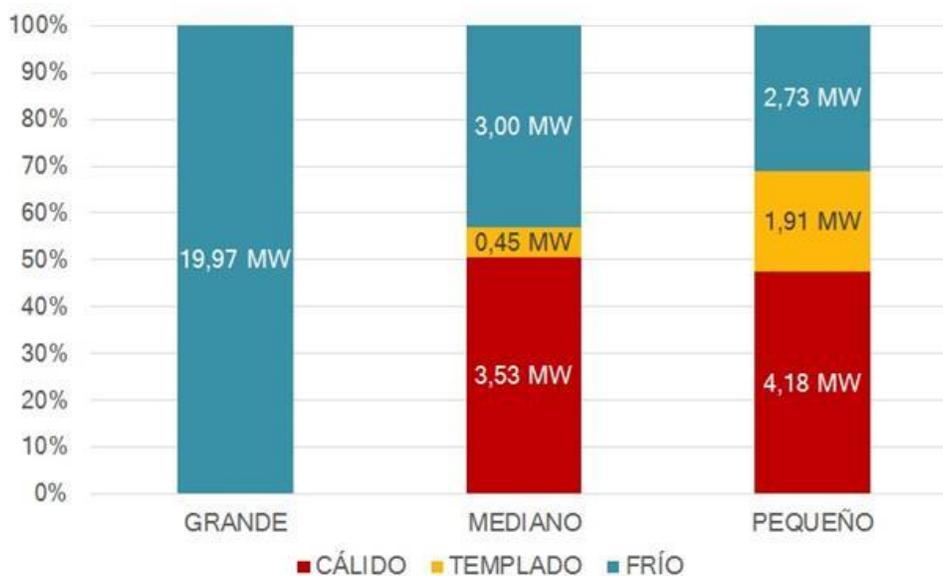
Figura 92: Capacidad en plantas de emergencia - Sector comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

En relación con las plantas de respaldo el total en el sector de comercio es de 35,76 MW (resultados de la muestra sin expansión al universo), el piso térmico frío participa con la mayor capacidad aproximadamente 20 MW como se observa en la Figura 93.

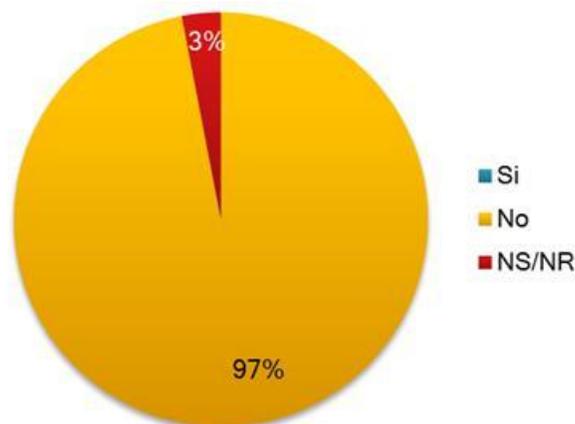
Figura 93: Capacidad en plantas de respaldo - Sector de comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

De los establecimientos encuestados en el sector de comercio, no se reporta aprovechamiento de energías renovables, el 97% manifestó no tener aprovechamientos en energías renovables y el 3% simplemente no responden probablemente por desconocimiento de éste tipo de proyectos, como se presenta en la Figura 94.

Figura 94: Aprovechamiento de energías renovables - Sector de comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

Adicionalmente, por gestión realizada con uno de los principales proveedores de tecnología de sistemas fotovoltaicos en el país, se dispone de información por fuera de la muestra de algunos establecimientos del sector que han iniciado la instalación y generación de energía a partir de paneles solares para cubrir parte de su demanda energética, con proyección a su ampliación en los próximos 5 años.

Tabla 45: Capacidades instaladas en solar fotovoltaica en el sector de comercio⁴⁴

| Establecimiento | Ciudad | Estado | Fecha del proyecto | Alcance del proyecto | Capacidad instalada (kW _p) | Capacidad proyectada (kW _p) |
|-----------------|--------|------------|--------------------|-----------------------------------|--|---|
| Alkosto AV 68 | Bogotá | Ejecutando | 20/10/2014 | Instalación On Grid ⁴⁵ | 268,5 | 1.000 |
| Alkosto Cali | Cali | Ejecutando | 07/12/2012 | Instalación | 114,5 | 500 |

⁴⁴ Información suministrada por el proveedor de tecnología. Sin embargo, se conocen de más proyectos ejecutados o en ejecución con el mismo proveedor pero por acuerdos de confidencialidad no se pueden hacer mención.

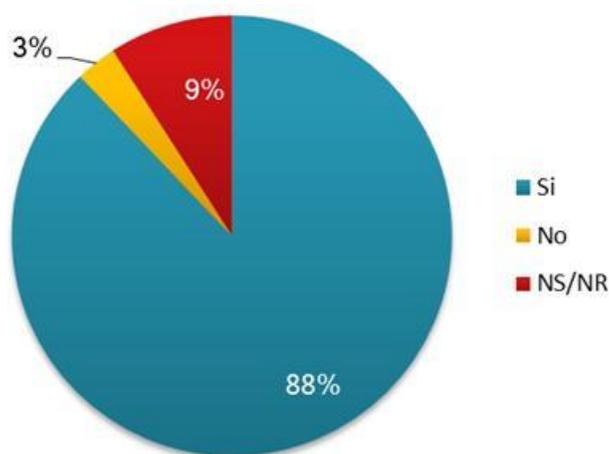
⁴⁵ Sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución local. En caso de tener excedentes éste sistema puede verterlos al Sistema.

| Establecimiento | Ciudad | Estado | Fecha del proyecto | Alcance del proyecto | Capacidad instalada (kW _p) | Capacidad proyectada (kW _p) |
|------------------|----------|------------|--------------------|----------------------|--|---|
| | | | | On Grid | | |
| Electro japonesa | Cali | Ejecutando | 07/12/2013 | Instalación On Grid | 43,5 | - |
| Segurcol | Medellín | Ejecutando | 21/08/2014 | Instalación On Grid | 43,4 | - |
| Home Center | Cajicá | Ejecutando | 12/12/2013 | Instalación On Grid | 39,4 | - |

Fuente: Panasonic Colombia, elaboración de la consultoría

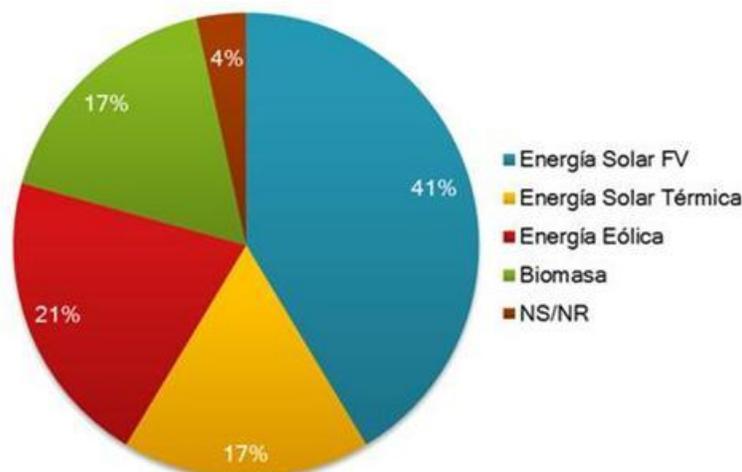
Sin embargo, la percepción en relación con la importancia y eventual oportunidad en el sector sobre el potencial para el aprovechamiento de la energía renovable es positiva, con un 88%, a pesar del bajo desarrollo de proyectos, (Ver Figura 95) y tener algún potencial en energía renovables, especialmente en fotovoltaica, solar térmica y eólica (Ver Figura 96)

Figura 95: Percepción de potencial en energías renovables - Sector de comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

Figura 96: Percepción de potencial en energías renovables por tipo fuente energética - Sector de comercio

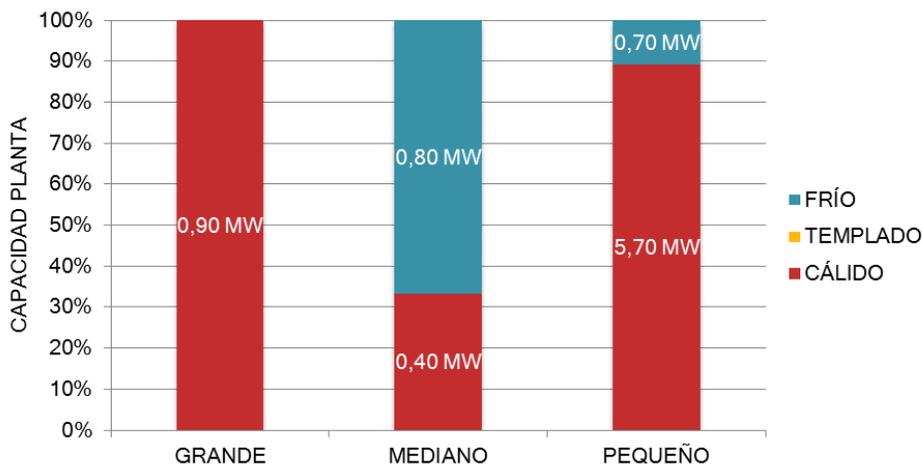


Fuente: Elaboración de la consultoría

5.4.4 Sector público

Al realizar la expansión de los resultados obtenidos en capacidades de planta de emergencia en la muestra al universo del sector público se obtendría una capacidad aproximada de 9 MW distribuidas en las 49 establecimientos del universo que se estiman usan plantas de emergencia de acuerdo al comportamiento de la muestra (Ver Figura 97).

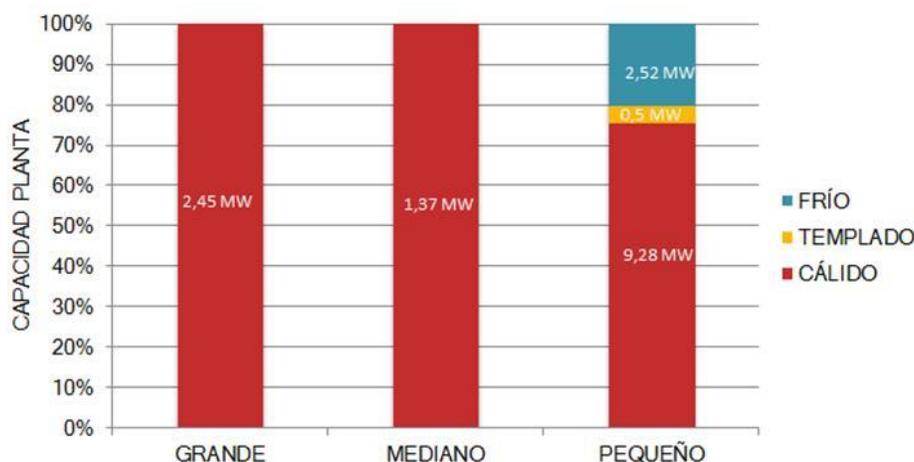
Figura 97: Capacidad plantas de emergencia - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

Se dispone adicionalmente de total 16,1 MW instalados en plantas de respaldo entre los establecimientos encuestados (datos de la muestra sin expansión); clasificación realizada teniendo en cuenta la capacidad de sus plantas y el tamaño de planta calculado de acuerdo con el consumo de kWh/año reportado, con lo cual se determina que están en capacidad de suplir el total del consumo de energía del establecimiento en caso de falla en el Sistema, como se observa en la Figura 98.

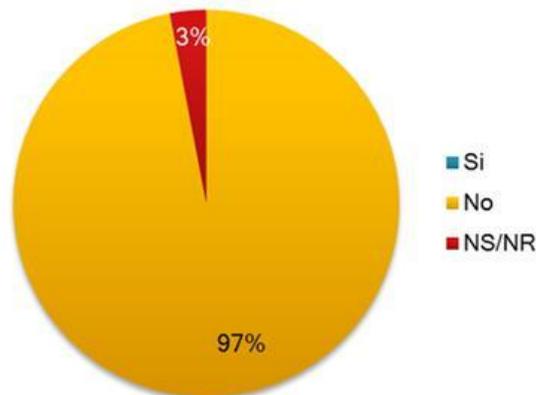
Figura 98: Capacidad plantas de respaldo - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

En éste sector, tal como se comentó en el apartado de cogeneración de energía, por falta de asignación presupuestal en algunos casos y/o por desconocimiento del potencial, no se hacen aprovechamientos de las fuentes de energía renovables (Ver Figura 99).

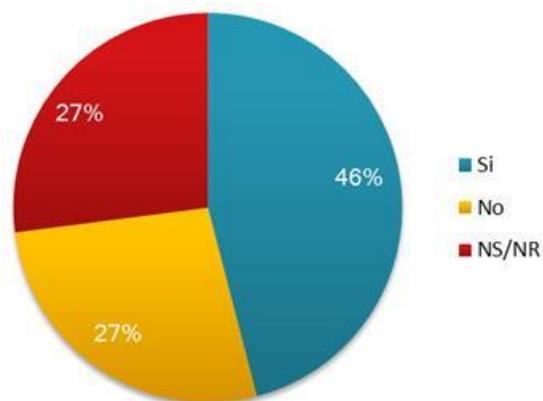
Figura 99: Aprovechamiento de energías renovables - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

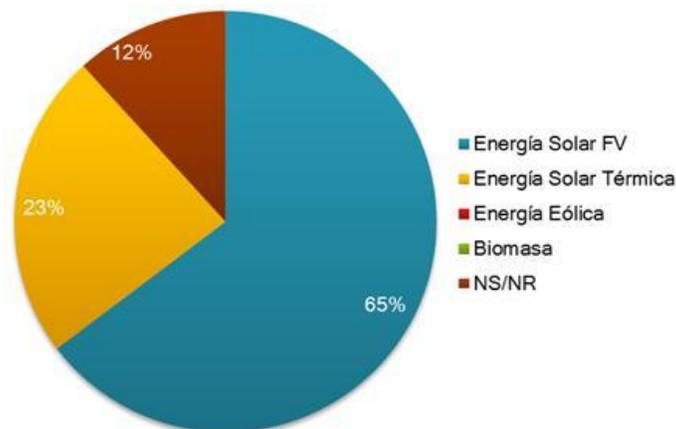
La percepción en relación con la importancia y oportunidad en el sector sobre el potencial para el aprovechamiento de la energía renovable es medio, con un 46%, como se observa en la Figura 100; Sin embargo, el 88% de los establecimientos encuestados creen tener algún potencial en energías renovables, específicamente en fotovoltaica y solar térmica (Ver Figura 101).

Figura 100: Percepción de potencial en energías renovables - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

Figura 101: Percepción de potencial en energías renovables por tecnología - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

5.4.5 Sector hoteles y hospitales

Por la importancia en la continuidad del servicio en el sector de hoteles y hospitales por razones comerciales y normativas, la capacidad de las plantas

deben asegurar la continuidad en el suministro de energía en casi la totalidad del establecimiento, por lo cual se efectuó un análisis crítico de las capacidades de emergencia reportadas y se encontró que realmente se deben considerar como plantas de respaldo (22,130 MW) y no de emergencia, como se observa en la Figura 102.

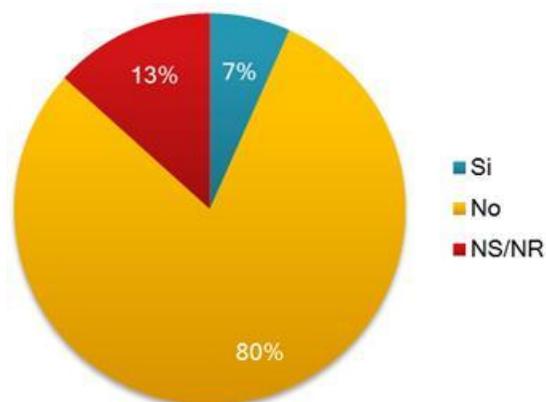
Figura 102: Capacidad en plantas de respaldo - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

El aprovechamiento de energías renovables reportado en las encuestas es bajo y solamente se tiene reporte de este tipo de aprovechamiento en un hotel en del Caribe colombiano con 25 kW instalados en noviembre de 2014 (Ver Figura 103).

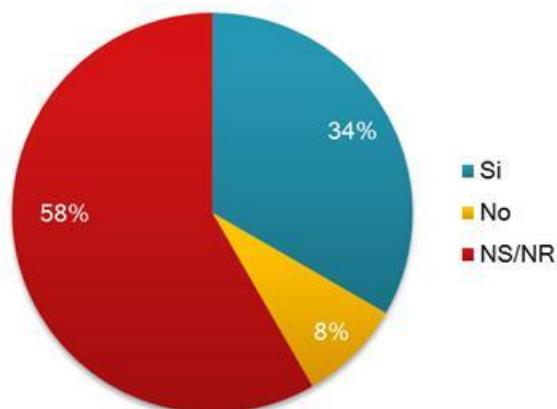
Figura 103: Aprovechamiento de energías renovables - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

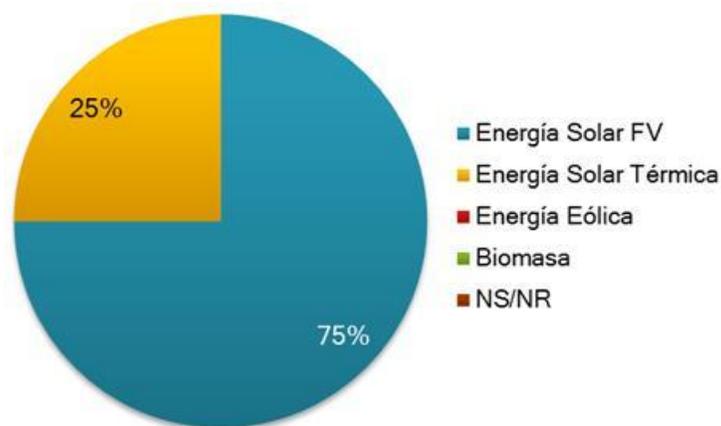
Por su parte, la percepción en relación con la importancia y oportunidad en el sector sobre el potencial para el aprovechamiento de la energía renovable es media, con un 34%, como se observa en la Figura 104; Sin embargo, por tecnologías, la percepción se concentra específicamente en energía solar fotovoltaica y solar térmica, como se puede ver en la Figura 105.

Figura 104: Percepción de potencial en energías renovables - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

Figura 105: Percepción de potencial en energías renovables sector hoteles y hospitales - Por tecnología



Fuente: Elaboración de la consultoría

5.5 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS DE AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN

Con base en todos los resultados presentados en este capítulo en cuanto a los inventarios de autogeneración y cogeneración para los diferentes sectores del estudio, se presenta a continuación el consolidado de inventario encontrado.

Tabla 46: Resultados consolidados de autogeneración, cogeneración y equipos de emergencia para todos los sectores

| Sector | Autogeneración [MW] | Cogeneración [MW] | Emergencia [MW] | Total [MW] |
|--------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Industria | 234,0 | 596,7 | 136,4 | 967,1 |
| Petróleo | 955,0 | 151,0 | 4,3 | 1.110,3 |
| Comercio/Público y Otros | 4,1 | 0,0 | 65,0 | 69,1 |
| TOTAL | 1.193,1 | 747,7 | 205,7 | 2.146,5 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

De manera complementaria se presentan los resultados de la capacidad de generación en plantas de respaldo y en plantas con energías renovables. Estos resultados corresponden a cifras muestrales debido a que corresponden a casos aislados.

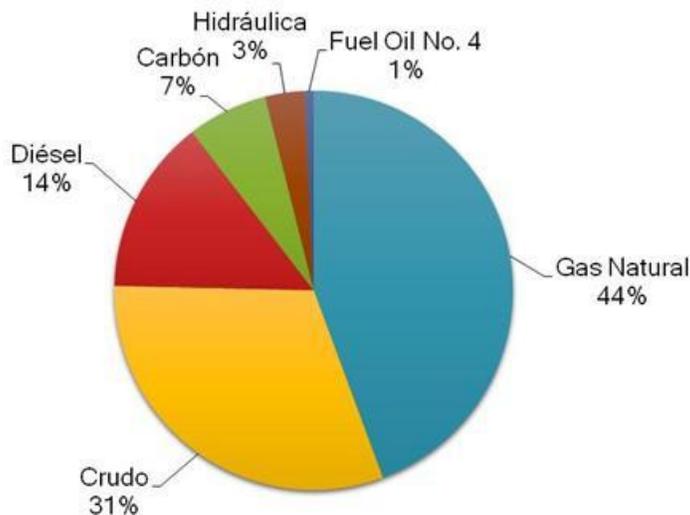
Tabla 47: Resultados complementarios - Inventario capacidad de respaldo y renovables

| Sector | Respaldo [MW] | Renovables [MW] | Total [MW] |
|--------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| Industria | 77,1 | 8,5 | 85,6 |
| Petróleo | 103,0 | 0,5 | 103,5 |
| Comercio/Público y Otros | 74,1 | 0,5 | 74,6 |
| Total | 254,2 | 9,5 | 263,7 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Adicionalmente, se puede realizar los siguientes análisis a nivel muestral sobre el comportamiento de las tecnologías y por fuente energética primaria.

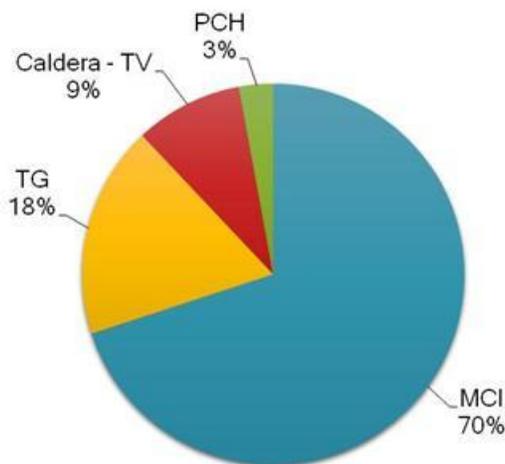
Figura 106: Resultados agregados por fuente energética en autogeneración - Todos los sectores



Fuente: Elaboración de la consultoría

En la figura anterior es evidente la amplia influencia del sector petróleo en el uso de energético primario, ya que a comparación con los resultados obtenidos para el sector de industria, el crudo, el gas natural y el diésel son los que tienen la mayor representatividad. Esta influencia tan marcada se da por que el sector petróleo es el sector que más capacidad instalada de aporta al inventario de autogeneración.

Figura 107: Resultados agregados por tecnología en autogeneración - Todos los sectores

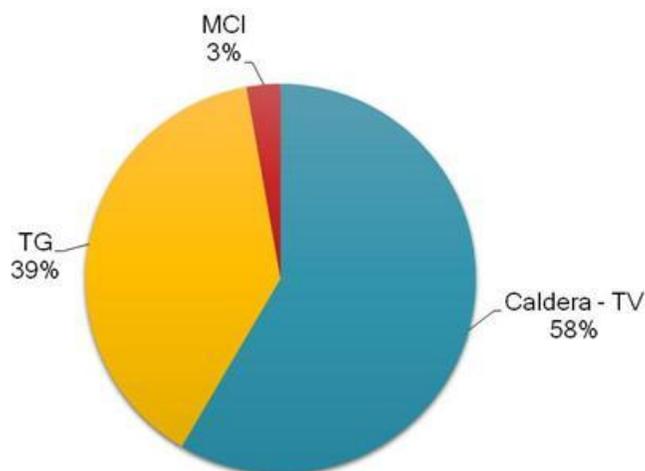


Fuente: Elaboración de la consultoría

Por otro lado, las tecnologías predominantes corresponden a esquemas que aprovechan directamente los gases de combustión. Los motores de combustión dominan con un 70%, esto debe a que la mayoría de la autogeneración en el sector petróleo se encuentra en la parte de producción, esta tecnología se emplea debido a la facilidad que presenta para su instalación, ya que tiene sistemas menos complejos que las turbinas de gas. Adicionalmente, es una tecnología muy económica, apropiada para combustibles que en muchos casos no han sido suficientemente tratados.

En cuanto a la cogeneración, las tecnologías dominantes son el sistema de caldera más turbina de vapor y la turbina de gas. El primero se ve representado por el código CIU 107 en su gran mayoría, mientras que el segundo presenta casos en el sector de industria y de petróleo. Es importante resaltar que el criterio para asignar un porcentaje es la capacidad instalada en esa tecnología, lo cual permite apreciar realmente su importancia dentro del estimado del inventario.

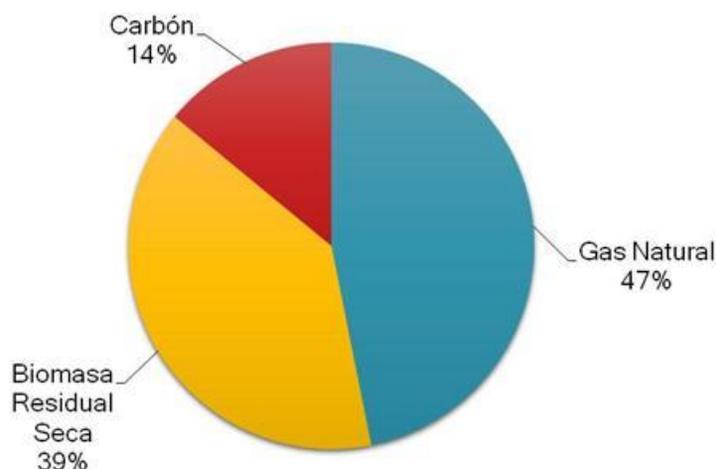
Figura 108: Resultados agregados por tecnología en cogeneración - Todos los sectores



Fuente: Elaboración de la consultoría

A sí mismo, se puede apreciar que las fuentes energéticas empleadas en cogeneración se resumen en 3 principalmente. Sobresale el hecho de que la biomasa sea el 39% a pesar de que su poder calorífico sea menor que el del carbón (aproximadamente la mitad al compararlo con un carbón de mediana calidad).

Figura 109: Resultados agregados por fuente energética en cogeneración - Todos los sectores



Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente, a nivel de muestra el grueso de la capacidad instalada es inferior a los 10 MW. Esto proporciona una idea sobre el nivel de energía eléctrica que se requiere a nivel global, teniendo en cuenta el sector de industria y petróleo principalmente. En autogeneración se da este fenómeno debido a que en la producción del crudo se tiene una gran cantidad de motores de combustión interna con capacidad instalada relativamente baja (menor a 5 MW). Por el contrario, en cogeneración no se presenta ese fenómeno, ya que el principal aporte lo hace el sector industrial, específicamente los ingenios azucareros y la producción de minerales no metálicos (Cemento). Los demás cogeneradores presentan capacidades instaladas menores a 10 MW.

5.6 OTROS RESULTADOS OBTENIDOS

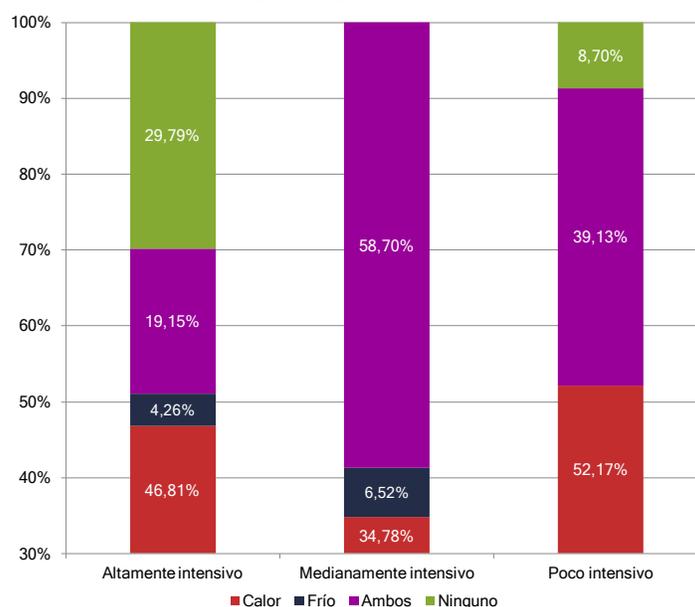
A continuación se presentan algunas graficas con su respectivo análisis e interpretación que a juicio del consultor ilustran características de cada uno de los sectores. Esta información se logró procesar con los otros campos del formulario respondidos por los establecimientos que atendieron la encuesta.

5.6.1 Sector de Industria

A partir de la información de la muestra se puede caracterizar el comportamiento del uso de energía térmica y refrigeración en el sector industrial para consumidores

puros. En la Figura 110 se puede apreciar cómo se distribuye el uso de energía térmica, calor y frío, a nivel de muestra. Se aprecia por ejemplo que en el grupo de los altamente intensivos tan solo 20%, emplean los dos tipos de energía (barras moradas), mientras que en el grupo medianamente hay un aumento porcentual significativo 60%, mientras que los poco intensivos el porcentaje alcanza un 40%. De otro lado, muy pocos en cada uno de los grupos emplean únicamente frío (barras de color azul oscuro) en su proceso productivo. Importante las cifras sobre el uso exclusivo de calor en el proceso de manufactura en los poco intensivos con un 52% aproximadamente y en segundo lugar los altamente intensivos con casi 47%. Por último casi la tercera parte del grupo altamente intensivos no emplea energía térmica en su proceso lo que haría pensar que su proceso requiere únicamente energía eléctrica.

Figura 110: Usos de energía térmica (calor y frío) en el sector de industria

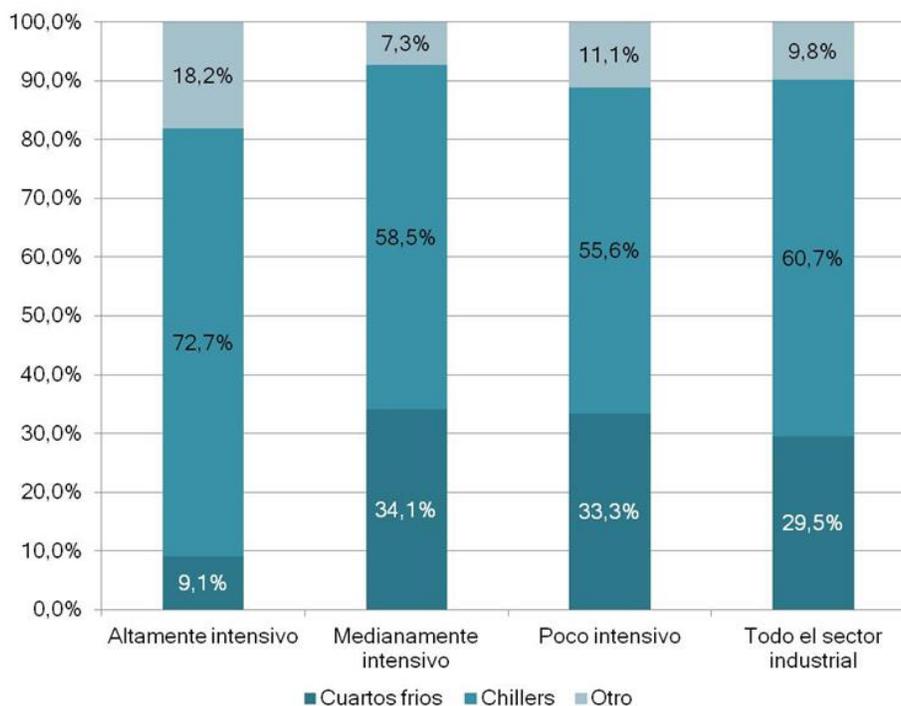


Fuente: Elaboración de la consultoría

Así mismo, se tiene una distribución de los principales tipos de equipos que se emplean para cada tipo de energía térmica. En el caso de la refrigeración (Ver Figura 111), el uso de cuartos fríos se incrementa a medida que disminuye la intensidad del proceso. En los medianamente y poco intensivos se utilizan equipos como crio-concentradores, tornillos de refrigeración, aire acondicionado, entre otros. Este comportamiento se da debido a las industrias de alimentos en los

medianamente intensivos, a diferencia de los altamente intensivos que emplean más los *Chillers*.

Figura 111: Tipos de equipos empleados en refrigeración

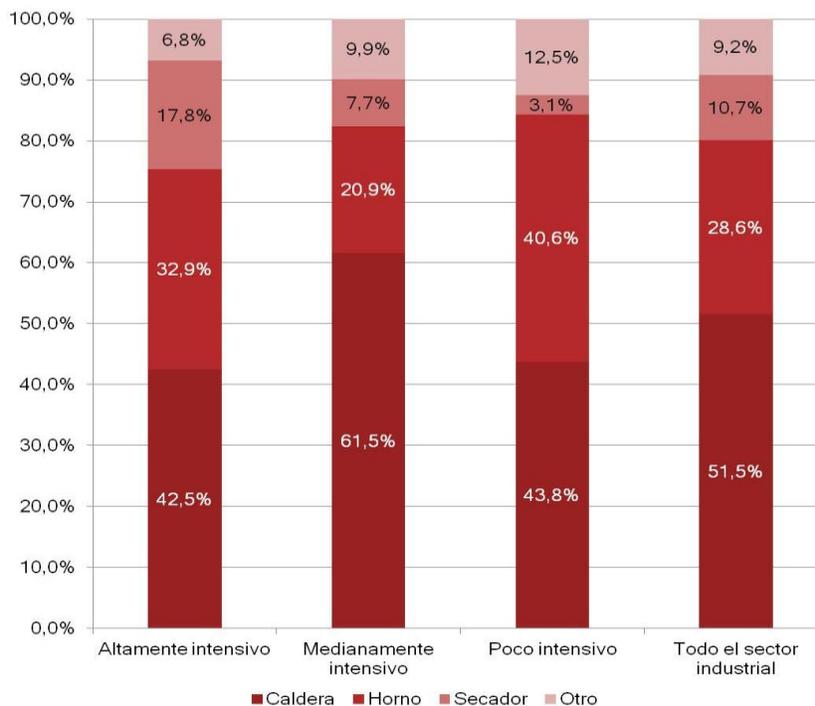


Nota: Otros corresponde a equipos como crioconcentradores, tornillos de refrigeración, etc.

Fuente: Elaboración de la consultoría

En el caso de la energía térmica (Ver Figura 112) se puede apreciar los equipos que se emplean típicamente y en qué proporción se emplean según la muestra del sector de industria. Predomina el uso de las calderas y en segundo lugar los hornos. Es interesante ver como en los medianamente intensivos se emplean con mayor proporción las calderas que en los altamente intensivos. Esta situación aparentemente se presenta debido a los procesos térmicos asociados con la producción de alimentos.

Figura 112: Tipos de equipos empleados en el uso de calor - Sector de industria

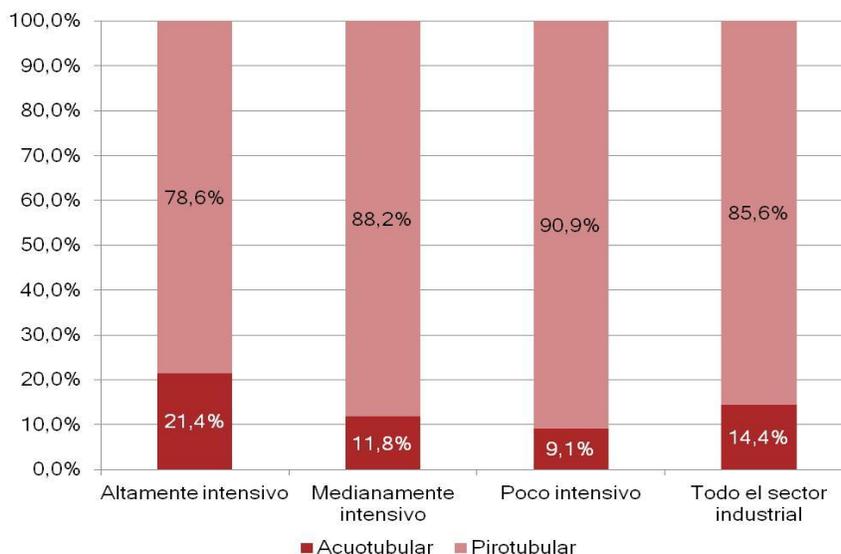


Nota: Otros corresponde a equipos como calderin, tostador, Secador Spray

Fuente: Elaboración de la consultoría

Este punto se hace aún más claro al discriminar las calderas según su tipo (Ver Figura 113), donde claramente la proporción de calderas acuotubulares disminuye según la clasificación de intensidad. Típicamente las calderas acuotubulares se emplean para potencias térmicas elevadas a comparación de las pirotubulares, lo cual en la práctica restringe la aplicación de sistemas de cogeneración a los sistemas con este tipo de calderas. El potencial que existe por el uso de calderas disminuye al discriminar los tipos de calderas. Estas proporciones estadísticas describen el comportamiento del sector para identificar oportunidades al momento de incentivar procesos de cogeneración.

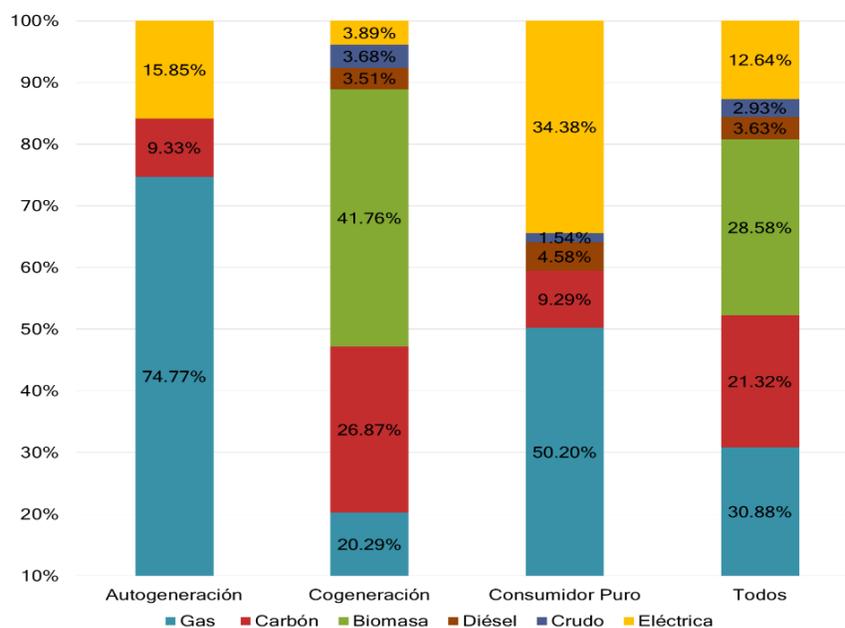
Figura 113: Distribución de los tipos de caldera-Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En la siguiente figura se puede apreciar el uso de energéticos en el sector industria y desagregado por autogeneradores, cogeneradores, consumidores puros y el total.

Figura 114: Distribución del uso de energéticos - Sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

Otro tipo de información fue recopilada durante el estudio como el uso de energéticos y energía eléctrica. Esta información se procesó para cada uno de los grupos objeto del estudio a nivel industrial, ver Figura 114. De allí puede observarse los autogeneradores cubren el 74,7% de sus necesidades energéticas principalmente con gas natural, mientras que los cogeneradores emplean para ellos biomasa y carbón principalmente. Por su parte los consumidores puros tienen un consumo importante de gas natural casi del 50% y en cuanto a energía eléctrica de 34, 38%. Al unir todos los sectores la distribución de uso de energéticos se sigue concentrando mayoritariamente en gas natural, biomasa y carbón.

5.6.2 Sector petróleo

Tal como se comentó en el numeral 5.1.2, la distribución del uso de combustibles en el sector petróleo, tomando la muestra de los establecimientos que explícitamente suministraron dicha información, muestra el uso de los siguientes combustibles primarios:

Tabla 48: Distribución del uso de combustibles en el sector petróleo

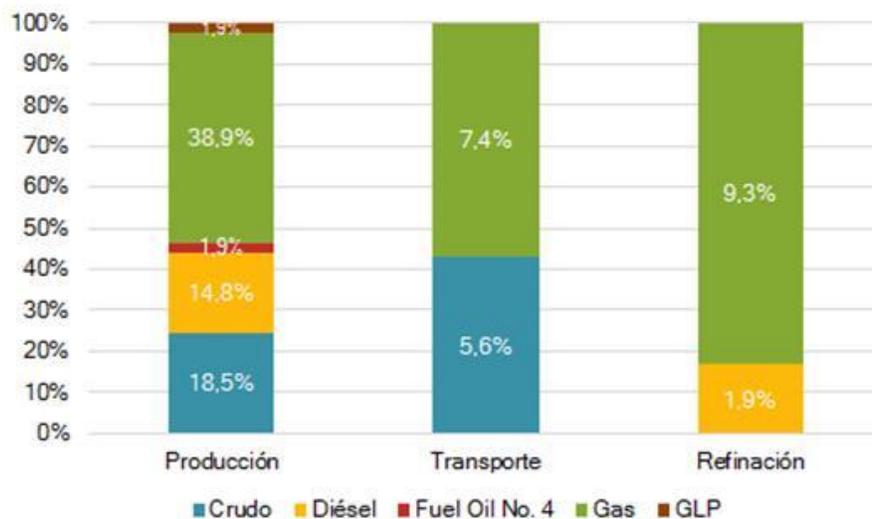
| Combustible | Potencia [MW] | % |
|--------------|---------------|-----|
| Gas | 375 | 44% |
| Crudo | 311 | 36% |
| Diésel | 147 | 17% |
| GLP | 16 | 2% |
| Fuel Oil # 4 | 7,5 | 1% |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Es claro que el gas natural (especialmente en producción y refinación) y el crudo (especialmente usado en transporte), con 44% y 36% de participación, respectivamente, son los energéticos primarios más usados en la industria petrolera. El uso del diésel (17%), está supeditado a facilidades o campos en donde no hay suficiente presencia de gas y su uso implica un alto de costo de adquisición y transporte a los operadores que lo utilizan. En cuanto al GLP (16%), no es común su uso para la generación de potencia, dadas las condiciones técnicas de manejo que requiere éste energético. Finalmente, el Fuel Oil # 4, se usa en algunos equipos técnicamente habilitados para tal efecto.

El uso de energéticos primarios de la Figura 115, indica el uso del gas en toda la cadena productiva, por su parte, la producción de hidrocarburos convencionales requiere de GLP (gas licuado de petróleo), Fuel Oil No. 4, diésel, crudo y gas.

Figura 115: Combustibles primarios empleados en el sector petróleo



Fuente: Elaboración de la consultoría

Según la información reportada por la muestra del sector, el consumo de gas natural durante el año 2013 fue de 1.223 MMm³ (millones de metros cúbicos) donde el consumo de los autogeneradores fue de 1.110 MMm³ de gas natural mientras los agentes que ni cogeneran ni autogeneran registraron un consumo de 113 MMm³, utilizados especialmente en equipos de soporte. Es notoria la participación de los establecimientos pertenecientes al área de producción quienes contribuyen en el consumo del energético con el 99,6% con 1.219 MMm³.

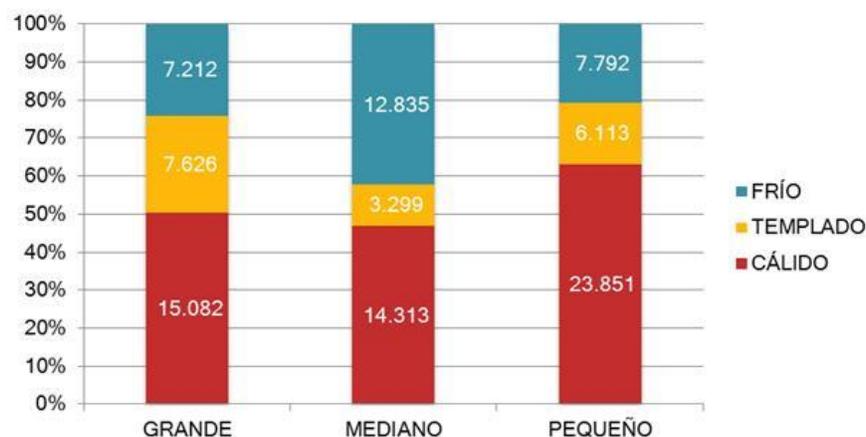
Con respecto al uso de otros energéticos, el consumo reportado de diésel en el 2013 fue de 194.404 m³ donde los agregados en autogeneración participaron de del consumo con el 90,2 % (175.632 m³) y el porcentaje restante lo ocupa los agentes que no cogeneran con el 9,8% (19.042 m³). Los agregados en cogeneración no reportaron consumos de este energético.

5.6.3 Sector de comercio

El consumo de energía eléctrica (reportada por los establecimientos encuestados) para el año 2013 en las regiones de piso térmico cálido del sector de comercio,

corresponden con el 50% en promedio del total de todos los pisos térmicos y por tamaño de establecimiento; es decir, que en las zonas cálidas se concentra el mayor consumo de energía (Ver Figura 116).

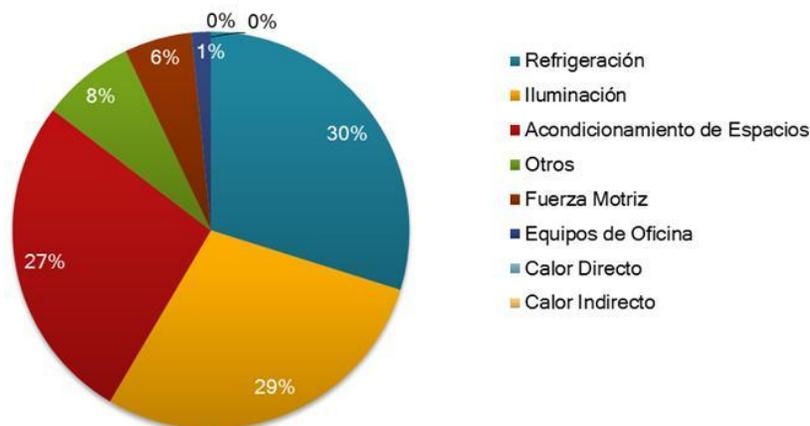
Figura 116: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector de comercio



Fuente: Elaboración de la consultoría

Con relación a la caracterización del uso de la energía eléctrica en el sector, de los 33 establecimientos comerciales encuestados, 26 han realizado algún tipo de estudio de caracterización de usos finales de energía representativos del sector, de los cuales en promedio el 30% corresponde a refrigeración, 29% a iluminación y 27% a acondicionamiento de espacios, como se observa en la Figura 117 del cual se podría deducir un potencial en eficiencia energética en éstos tres usos finales para éste sector.

Figura 117: Caracterización usos finales de energía - Sector de comercio



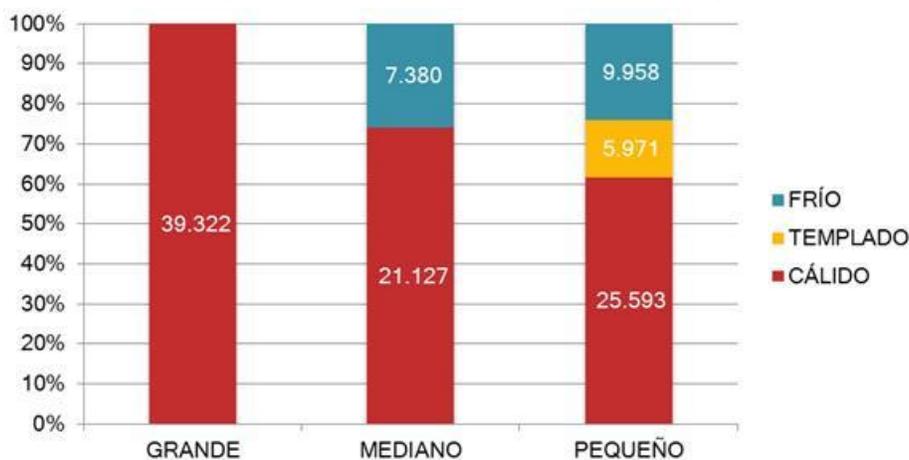
Fuente: Elaboración de la consultoría

Por su parte, en cuanto al consumo de combustibles en sus procesos o actividades propias del sector sólo se reporta un bajo consumo de diésel específicamente para el funcionamiento de las plantas de emergencia o respaldo, por cuanto éste consumo se da sólo en caso de fallas del servicio eléctrico contratado con el Comercializador local o por mantenimiento de la planta, acumulando pocas horas de funcionamiento al año.

5.6.4 Sector público

El consumo de energía eléctrica para el año 2013 en las regiones de piso térmico cálido del sector público (datos obtenidos en la encuesta correspondientes a la muestra), corresponden con el 80% en promedio del total nacional para todos los pisos térmicos y por tamaño de establecimiento; es decir, que en las zonas cálidas se concentra el mayor consumo de energía (Ver Figura 118).

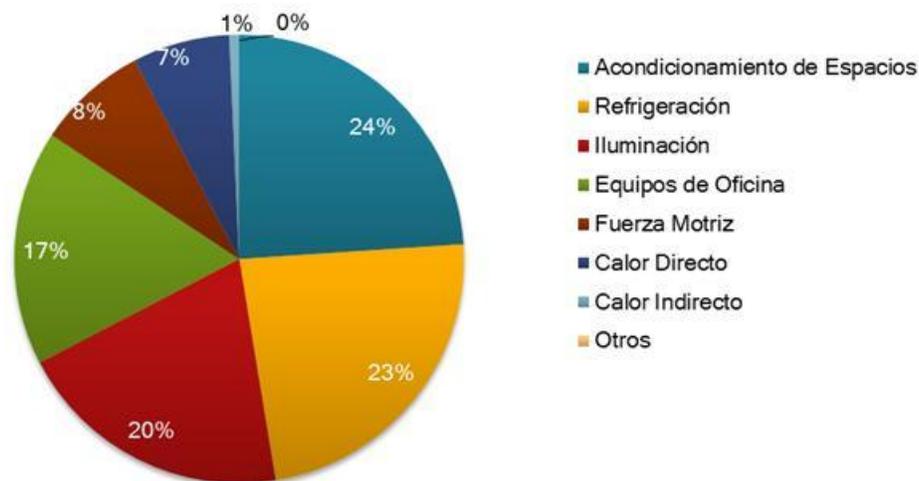
Figura 118: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

De los 34 establecimientos de las entidades públicas, tan sólo 10 tiene un estimado del uso final de energía, de los cuales en promedio el 24% reportan corresponde a acondicionamiento de espacios, 24% a refrigeración y 20% a iluminación, como los principales usos de energía, evidenciándose con ello el potencial existente en eficiencia energética en éste sector.

Figura 119: Caracterización usos finales de energía - Sector público



Fuente: Elaboración de la consultoría

Por su parte en relación al consumo de energéticos en las actividades o funcionamiento de las instalaciones de los establecimientos encuestados en el sector, corresponden principalmente a gas natural (cocinas, hornos y calderas) y diésel (plantas de emergencia o de respaldo), reportando bajos consumos mayores consumos en ambos energéticos en el estrato del piso térmico cálido (en promedio 77.400 m³/año por establecimiento en gas natural y 12 m³/año en diésel).

5.6.5 Sector hoteles y hospitales

En éste sector el consumo de energía eléctrica correspondiente al año 2013 (datos obtenidos de la muestra) se concentra en las zonas cálidas (piso térmico cálido) como se puede observar en Figura 120.

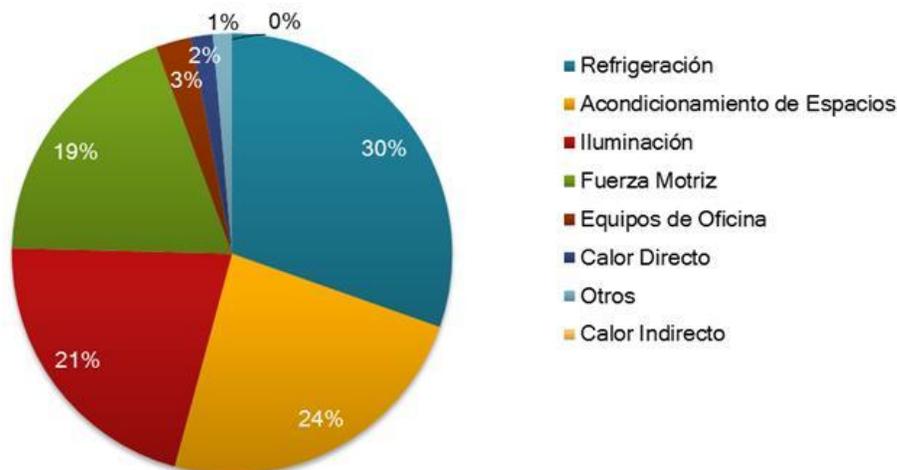
Figura 120: Consumo energía eléctrica (MWh/año) 2013 - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

Con relación a la caracterización del uso de energía en el sector, de los 15 establecimientos, tan sólo 5 tienen información del uso final de energía; de los cuales, en promedio el 30% corresponde a refrigeración, 24 a acondicionamiento de espacios y 21% a iluminación, como los principales usos de energía que se observan a continuación en la Figura 121.

Figura 121: Caracterización usos finales de energía - Sector hoteles y hospitales



Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente, en relación a los energéticos utilizados en el funcionamiento de éstos establecimientos, al igual que en el sector público corresponde principalmente al gas natural (cocinas, calderas para lavandería) y diésel (plantas de respaldo), siendo representativo una vez más el consumo de éstos en el piso térmico cálido

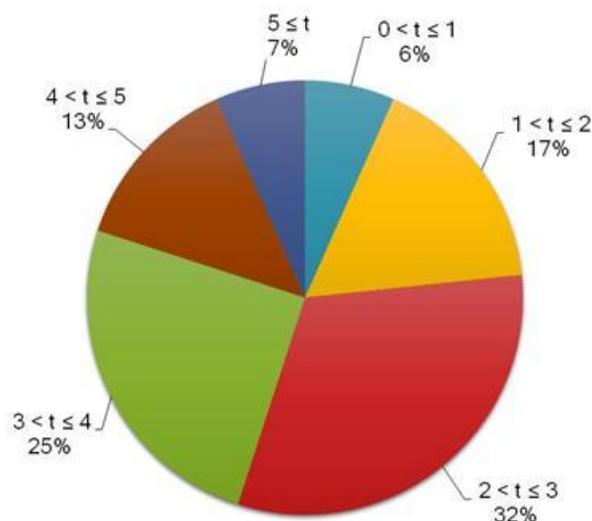
en el cual en promedio un establecimiento consume 2.640.000 m³/mes de gas natural y 59 m³/año de diésel (sólo por mantenimiento de la planta o en caso de corte en el suministro del servicio de energía eléctrica).

5.6.6 Motivadores de inversión en capacidades de autogeneración, cogeneración y energías renovables

5.6.6.1 Sector de industria

A partir de la muestra se puede establecer cómo es la percepción de los encuestados respecto al tiempo de retorno de inversión (Ver Figura 122) se puede resaltar que aproximadamente el 50% de los consumidores puros consideran que éste debería ser entre 2 y 4 años. Esta percepción aunque muy exigente es normal para inversionistas privados.

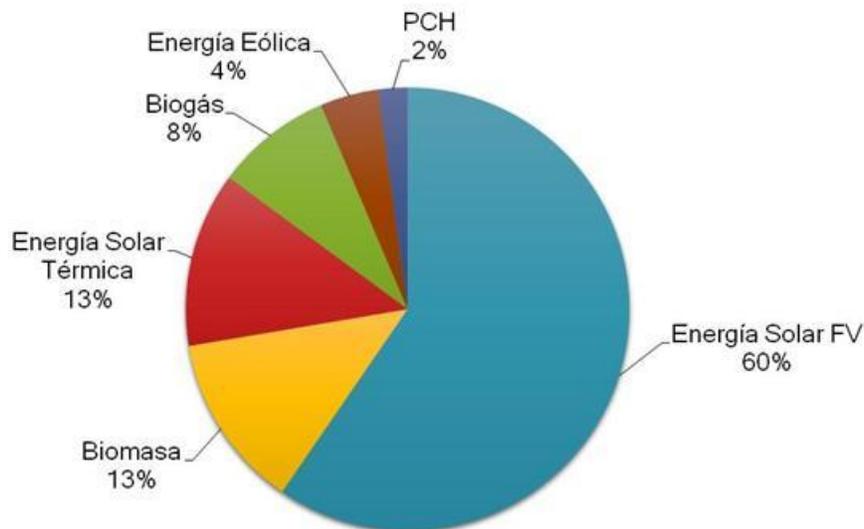
Figura 122: Percepción del tiempo de retorno de inversión en el sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En cuanto a la percepción de los encuestados respecto al potencial en energías renovables, la energía solar fotovoltaica tiene el 60% de favorabilidad, seguida de la biomasa y la energía solar térmica (Ver Figura 123).

Figura 123: Percepción de potencial en energías renovables en el sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

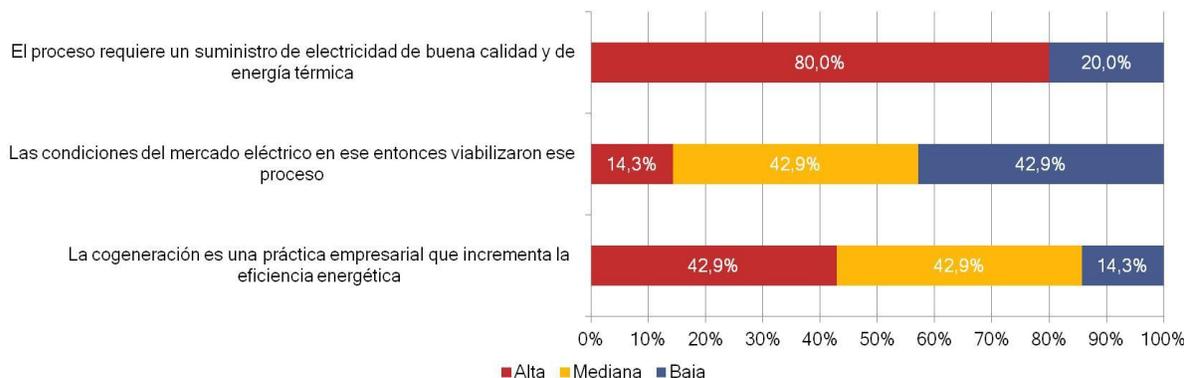
Como complemento se tienen las siguientes percepciones respecto a la actividad de autogeneración y cogeneración, las cuales corresponden a lo expresado durante la encuesta por los responsables en el suministro de información.

Los establecimientos con capacidad de autogeneración consideran que la principal motivación para de generar su propia energía está en la confiabilidad en el suministro y la calidad de la energía. Como segundo argumento en orden de importancia el mismo grupo considera que el precio del kWh autogenerado es más económico que el negociado con la red pública.

De otro lado también se percibió que los actuales autogeneradores contemplarían aumentar su capacidad instalada, si se permite vender excedentes de energía eléctrica al SIN. Así mismo, los autogeneradores reportan que el aumento en su actividad productiva y la participación de los costos de energía en los costos finales de producción, son aspectos importantes en la decisión de producir su propia energía eléctrica.

Adicionalmente, los cogeneradores consideraron la calidad del suministro eléctrico como la principal motivación. Se resalta el hecho que las condiciones del mercado eléctrico son consideradas medianamente importantes al decidir ser cogeneradores (Ver Figura 124), lo cual se explica en el hecho de los sistemas de cogeneración se implementan como una exigencia del proceso productivo.

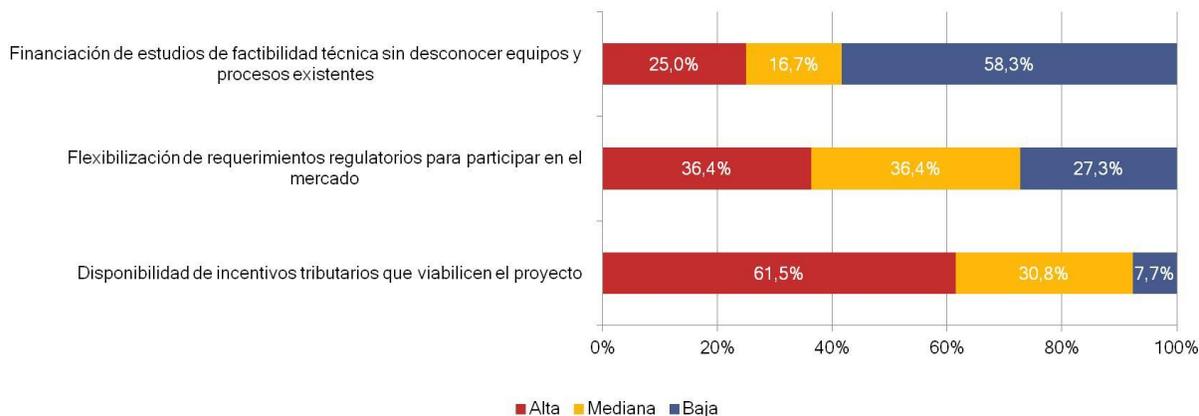
Figura 124: ¿Qué lo motivó a ser cogenerador?



Fuente: Elaboración de la consultoría

En cuanto al incremento en la capacidad instalada de los cogeneradores encuestados (ver Figura 125) sobresalen los incentivos tributarios como principal motivación. Así mismo, se presenta la flexibilización en los requerimientos regulatorios (Caso del REE y la próxima regulación de la ley 1715 del 2014) como siguiente en importancia.

Figura 125: ¿Qué lo motivaría a incrementar la capacidad de cogeneración?



Fuente: Elaboración de la consultoría

Es interesante el hecho de que la financiación de estudios de factibilidad tenga la menor prioridad para este tipo de proyectos. Este comportamiento se puede entender si se parte del hecho de que ya son cogeneradores, y ya tienen experiencia en cuanto a esta práctica empresarial.

5.6.6.2 Sector petróleo

A partir de las varias entrevistas sostenidas con los principales agentes del sector se presentan a continuación aspectos muy relevantes de la percepción y filosofía de operación del negocio:

- En la filosofía de producción de hidrocarburos, los operadores prefieren la autogeneración en lo posible con cubrimiento total de las operaciones y con respaldo del SIN. Las refinerías en general, aplican la misma filosofía, mientras que el área de Transporte, prefiere el uso del SIN como suministro primario de Energía.
- La energía no consumida o excedentaria no es vendida porque los operadores, primero, no desean ser generadores y segundo, las plantas de autogeneración están construidas para cubrir la capacidad de las instalaciones, con un factor de reserva para garantizar la confiabilidad de la operación.
- Los operadores estarían eventualmente dispuestos a vender excedentes de energía a la red, sí y sólo si, no se ve comprometida la confiabilidad de la operación en sus campos de producción, pero se insiste en que no es el interés principal del negocio, según sus manifestaciones expresas
- Por las características del área de refinación, que requiere vapor para la operación de sus plantas, es viable implementar procesos de cogeneración en dicho sector.

5.6.6.3 Sectores de comercio, público, hoteles y hospitales

En los sectores de comercio, hoteles y hospitales se encontró para invertir en proyectos de cualquier se buscan retornos de la inversión en promedio de 1,5 - 2 años, motivo por el cual en varias oportunidades se han descartado proyectos de implementación de energías renovables puesto que supera dicha expectativa de retorno y se opta por ejecutar proyectos de eficiencia energética en los cuales sus retornos se ajustan a dicho criterio. Por su parte en el sector público toda inversión se debe ajustar a las asignaciones presupuestales del año y se encontró que las inversiones realizadas en capacidades de autogeneración de energía han sido motivadas por la ubicación de las instalaciones en ZNI - zonas no interconectadas.

CAPÍTULO 6

6 POTENCIAL DE AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN

En este capítulo se presenta la metodología y los resultados del potencial de autogeneración y cogeneración de los sectores objetivo del estudio.

6.1 SECTOR DE INDUSTRIA

Se presenta en esta sección el cálculo del potencial para el sector industrial abordando el potencial teórico técnico y el potencial viable, desde el punto de vista económico.

6.1.1 Cálculo potencial técnico teórico

El potencial técnico en autogeneración y cogeneración se estimó bajo la premisa de que los consumidores puros de cada estrato llegasen a convertirse en cogeneradores o autogeneradores dependiendo de las características propias de sus procesos productivos y de sus consumos de energía eléctrica y combustibles.

Para la estimación se consideran los siguientes aspectos:

- El potencial técnico de incremento en la capacidad instalada en cogeneración y autogeneración se encuentra en los consumidores puros de cada estrato.
- Los consumidores puros de un estrato, están en capacidad de llegar a tener una capacidad instalada (en autogeneración o cogeneración) igual al promedio de capacidad instalada encontrada en el estrato al que pertenecen.
- Los consumidores puros de cada estrato pueden clasificarse como potenciales cogeneradores o autogeneradores según su código CIIU Rev. 4. Por lo tanto, se puede caracterizar cada código CIIU como posible cogenerador y autogenerador según los resultados encontrados en la muestra estadística. Por ejemplo el código 203, es potencialmente autogenerador debido a los resultados del muestreo estadístico.
- Los estratos clasificados con procesos de baja intensidad y con tamaños de planta menores a 0,5 MW se excluyen del análisis, dadas sus características (consultar generalidades del sector de industria en 3.1.1).

Para efectos del cálculo, se ubicaron los códigos CIIU que resultaron ser cogeneradores y autogeneradores. Adicionalmente, para los casos en que el

código CIIU presentaba ambas posibilidades, se clasificó utilizando como criterio de peso la capacidad instalada. Por ejemplo el código 239 presentaba establecimientos con procesos de cogeneración o autogeneración, sin embargo, la mayor capacidad instalada se encontró en autogeneración, lo cual lo convertía en un código con potencial de autogenerar. Los códigos CIIU catalogados como posibles autogeneradores o cogeneradores son los siguientes:

Para autogeneración:

- 203: Fabricación de fibras sintéticas y artificiales
- 231: Fabricación de vidrio y productos de vidrio
- 239: Fabricación de productos minerales no metálicos NCP

Para cogeneración:

- 103: Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal
- 107: Elaboración de panela y azúcar
- 108: Elaboración de productos alimenticios
- 110: Elaboración de bebidas
- 131: Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles
- 139: Fabricación de otros productos textiles
- 162: Fabricación de hojas de madera para enchapado y tableros
- 170: Fabricación de papel y cartón
- 201: Fabricación de sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánicos
- 210: Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales botánica
- 241: Industrias básicas de hierro y de acero

La proporción de posibles autogeneradores y cogeneradores en los consumidores puros se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49: Proporciones de los posibles cogeneradores y autogeneradores en los estratos de interés

| Estrato | Autogeneración | Cogeneración | Consumidor Puro |
|---------|----------------|--------------|-----------------|
| MG-AI | 28,9% | 57,9% | 13,2% |
| MG-MI | 0,0% | 41,4% | 58,6% |
| G-AI | 35,7% | 42,9% | 21,4% |
| G-MI | 0,0% | 28,6% | 71,4% |
| M-AI | 33,3% | 55,6% | 11,1% |

| Estrato | Autogeneración | Cogeneración | Consumidor Puro |
|---------|----------------|--------------|-----------------|
| M-MI | 0,0% | 12,5% | 87,5% |
| P-AI | 11,1% | 66,7% | 22,2% |
| P-MI | 0,0% | 17,6% | 82,4% |

Fuente: Elaboración de la consultoría

En la Tabla 50 se muestra la cantidad estimada de consumidores puros según la estratificación que se manejó en el muestreo estadístico para el sector industrial. Con base en la clasificación de los códigos CIU y el número estimado de consumidores puros se estimó los posibles nuevos cogeneradores y autogeneradores.

Tabla 50: Estimado de posibles autogeneradores y cogeneradores por estrato

| Estrato | N° estimado de consumidores puros | N° estimado de autogeneradores | N° estimado de cogeneradores |
|---------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| MG-AI | 5 | 12 | 24 |
| MG-MI | 18 | 0 | 13 |
| G-AI | 9 | 16 | 19 |
| G-MI | 36 | 0 | 14 |
| M-AI | 5 | 16 | 26 |
| M-MI | 112 | 0 | 16 |
| P-AI | 111 | 56 | 334 |
| P-MI | 771 | 0 | 165 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente se estimó el potencial técnico en cada estrato para la cogeneración y la autogeneración, los resultados están consignados en la Tabla 51. El potencial corresponde al 72,7% de la capacidad instalada en autogeneración y al 105,1% de la capacidad instalada en cogeneración.

Tabla 51: Potencial técnico en autogeneración y cogeneración

| Estrato | Potencial en autogeneración [MW] | Potencial en cogeneración [MW] |
|---------|----------------------------------|--------------------------------|
| MG-AI | 170 | 340 |
| MG-MI | 0 | 255 |
| G-AI | 0 | 0 |
| G-MI | 0 | 20 |
| M-AI | 0 | 0 |

| Estrato | Potencial en autogeneración [MW] | Potencial en cogeneración [MW] |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| M-MI | 0 | 12 |
| P-AI | 0 | 0 |
| P-MI | 0 | 0 |
| Total | 170 | 627 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

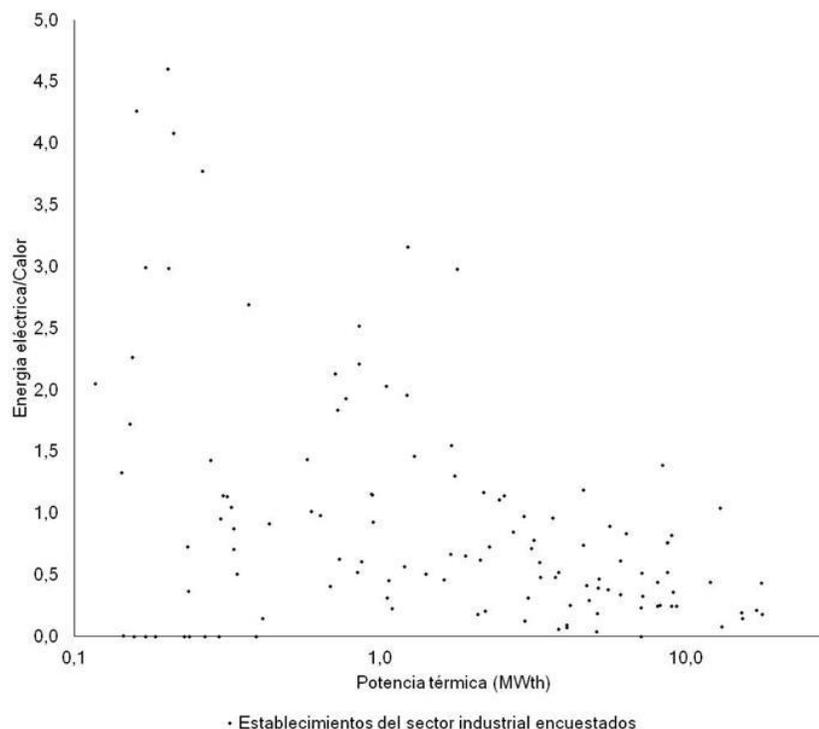
Es importante resaltar que los valores presentados se consideran como el potencial técnico “teórico” y se fundamenta en el comportamiento de las unidades manufactureras presentes en cada estratificación (a nivel de muestra estadística). Esta característica de la estimación permite que estratos con potenciales autogeneradores no presenten un potencial de capacidad instalada, dado que dichos estratos no presentaron autogeneración (Ver 5.1.1). Las premisas para el cálculo del potencial técnico permiten estimar cuales potenciales autogeneradores y cogeneradores realmente podrían aportar potencial técnico dado su estrato.

6.1.2 Cálculo del potencial viable

El potencial viable se establece desde dos perspectivas. Una perspectiva descriptiva desde el punto de vista de las tecnologías y otra cuantitativa desde el punto de vista económico.

Para empezar a formular el potencial es importante darse una idea grafica de la situación presentada en la muestra del estudio, relacionando el consumo de energía eléctrica con el consumo de energía térmica y estableciendo para el mismo establecimiento la necesidad de una potencia térmica. La Figura 126 ilustra la ubicación de cada uno de los establecimientos considerando esas dos variables.

Figura 126: Ubicación de los establecimientos sector de industria



Fuente: Elaboración de la consultoría

En el eje de las abscisas la potencia térmica requerida y en el eje de las ordenadas la relación energía eléctrica / energía térmica.

6.1.2.1 Potencial técnico para autogeneración

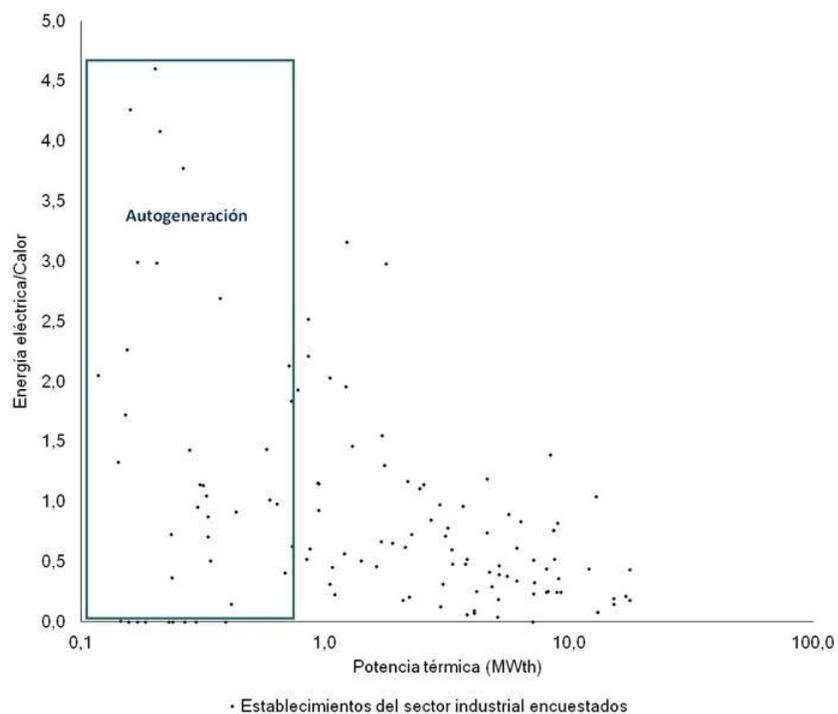
Para la estimación del potencial técnico se parte del supuesto que exista un recurso energético cercano o transportable a bajo costo a la planta industrial, o que su aprovechamiento no exige disponer de otros recursos cuantiosos para las potencias requeridas. En consecuencia se descartan fuentes tales como la hidráulica, la eólica, la biomasa y la geotérmica, ya que la localización de estas fuentes condiciona la ubicación de la planta industrial cercana al recurso.

También se descarta la energía solar como fuente debido a que para generar la energía reportada en las encuestas como compras a la red pública, las potencias instaladas y las características del consumo las haría inviable.

Por lo tanto, los energéticos para el análisis de autogeneración corresponden al petróleo y sus derivados, el gas natural y el carbón; y sus potencias serían trivialmente equivalentes a las compras de energía.

De otra parte, los establecimientos objeto del análisis de autogeneración son aquellos cuyo consumo térmico es muy bajo (o inexistente) comparado con el consumo de energía eléctrica, lo cual ocurre, como se aprecia en la Figura 127, en los consumidores ubicados muy cerca al eje de la ordenadas. Además se toma en consideración tecnologías comercialmente disponibles.

Figura 127: Zona de establecimientos con bajo consumo de energía térmica Vs energía eléctrica

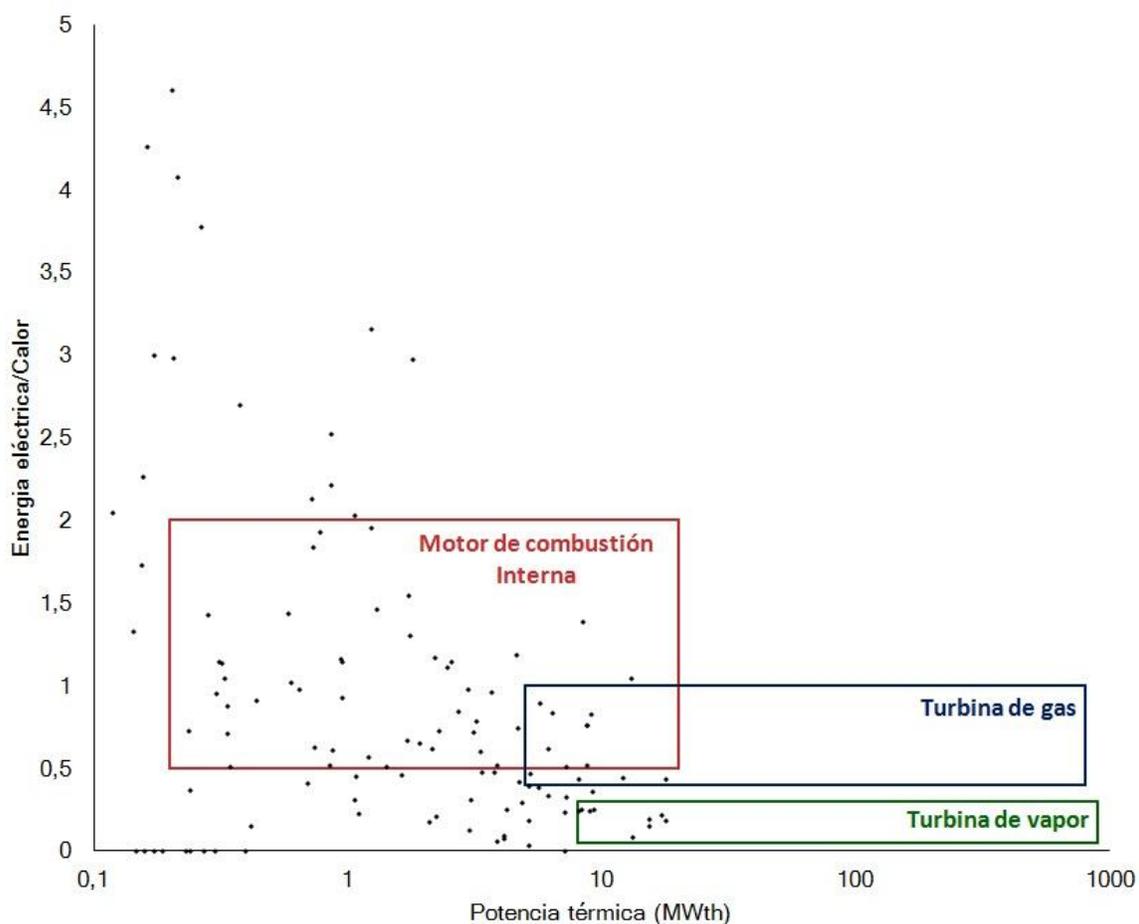


6.1.2.2 Potencial técnico para cogeneración

De acuerdo con el uso de energía eléctrica y energía térmica, es posible identificar las tecnologías potenciales para los establecimientos encuestados de acuerdo con los criterios de potencia térmica requerida y relación energía eléctrica/energía térmica (CIRCE, 2001) para cada uno de los establecimientos encuestados y entregaron información completa. Los resultados de este ejercicio se pueden

apreciar en la Figura 128, en el recuadro rojo se encuentran las unidades manufactureras que podrían emplear motor de combustión interna como tecnología, en el recuadro azul oscuro se ubican las unidades manufactureras que pueden emplear turbina de gas y finalmente en el recuadro verde se ubican establecimientos donde podrían emplear turbina de vapor.

Figura 128: Potencial de tecnologías para el sector de industria



• Establecimientos del sector industrial encuestados

Fuente: CIRCE, 2001 y elaboración de la consultoría

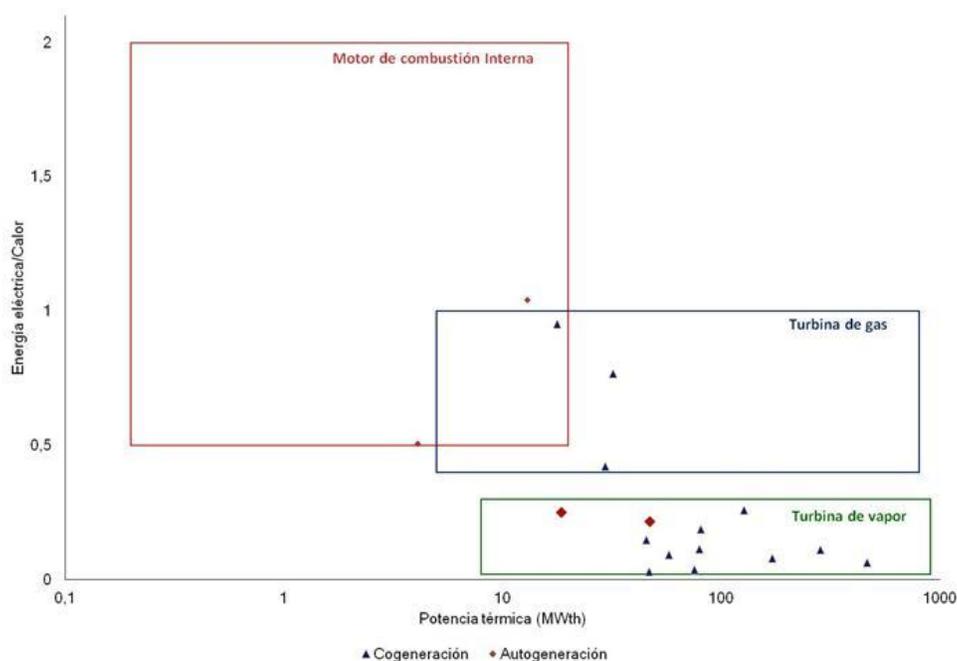
Adicionalmente, en la Figura 128 se identifican las relaciones energía eléctrica/calor mayores a dos, las cuales poseen potencial para ser autogeneradores; los puntos ubicados en esta zona corresponden a procesos en los que no se emplea una gran cantidad de energía térmica para producir productos de valor agregado, a diferencia de los puntos que poseen una relación

energía eléctrica/calor menor a 2, los cuales corresponden a procesos con potencial técnico de cogeneración.

La elevada concentración de puntos en la zona central proporciona una idea de las características energéticas de la industria colombiana, donde los requerimientos térmicos son inferiores a 10 MWth en su gran mayoría. La intersección de los recuadros correspondientes a las tecnologías de motor de combustión interna y turbina de gas es una zona de transición que permite el uso de cualquiera de las dos tecnologías (las características de cada proceso podrían incidir en la selección de la tecnología).

A continuación se presenta la figura en la cual se ubican los establecimientos de la muestra que efectivamente reportan ser cogeneradores o autogeneradores. Como se puede observar, la gran mayoría de ellos quedan incluidos dentro del recuadro de tecnología de turbina de vapor. Adicionalmente la mayoría también son cogeneradores, lo cual corrobora la aplicabilidad de esta tecnología para la cogeneración.

Figura 129: Autogeneradores y cogeneradores de la muestra-Capacidades y tecnologías



De igual manera se encuentra que la tecnología de MCI es utilizada solo para autogeneración a nivel de **muestra**.

6.1.2.3 Análisis crítico del criterio regulatorio del Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE)

Como se mencionó, la Resolución 005 de 2010 estableció los requisitos que deben cumplir los procesos de producción conjunta de generación térmica y eléctrica para ser considerados como cogeneradores aptos para vender excedentes de energía eléctrica a la red pública. A continuación se examinan el efecto de estas restricciones sobre el REE en la factibilidad de instalar procesos de cogeneración en la industria manufacturera encuestada.

Los rendimientos mínimos equivalentes de estas limitaciones en los procesos según la regulación citada se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52: Rendimientos mínimos equivalentes por combustible según la CREG

| Tipo de combustible | REE mínimo |
|--|------------|
| Gas natural | 53,5 % |
| Carbón | 39,5 % |
| Hidrocarburos grados API < 30 | 30 % |
| Hidrocarburos grados API > 30 | 51 % |
| Bagazo y demás residuos agrícolas de la caña de azúcar | 20 % |
| Otros Combustibles de Origen Agrícola | 30 % |

Fuente: CREG, 2010

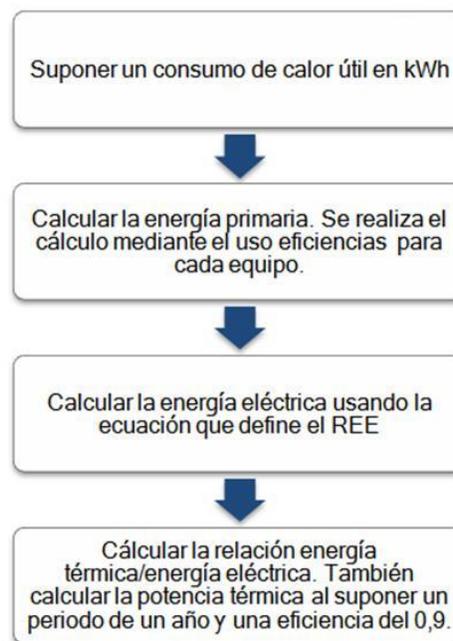
Los siguientes supuestos se utilizan en el cálculo de los límites de viabilidad bajo el criterio del rendimiento eléctrico equivalente:

- El supuesto de consumo de energía térmica se da en un periodo de un año para poder calcular la potencia térmica a la que equivale el supuesto de energía.
- La relación H/P (*Heat/Power: cantidad de calor requerido por unidad de potencia eléctrica*) se da por criterio de experto con base en el conocimiento de las tecnologías presentadas. Se presentan escenarios con diferentes relaciones H/P para ver la sensibilidad de esta variable.

- La relación H/P va ligada con el tipo de tecnología y el tipo de proceso. Se asume como una medida indirecta de la capacidad del proceso para producir energía a partir
- Todos los equipos a excepción de las turbinas de vapor tienen un esquema tipo *Topping* (producción de energía eléctrica antes de aprovechar la energía térmica). De manera complementaria se presenta el caso del motor de combustión interna junto a la caldera de recuperación.

El algoritmo de cálculo se presenta en la figura siguiente

Figura 130: Algoritmo para el cálculo de límites de viabilidad según REE



Fuente: Elaboración de la consultoría

Los cuatro modelos matemáticos para el cálculo de los límites de viabilidad se presentan a continuación:

Energía eléctrica:

$$EE[kWh] = \%REE \left(EP[kWh] - \left(\frac{CU[kWh]}{0,9} \right) \right)$$

Potencia térmica del proceso

$$PT[MW] = \frac{CU[kWh]}{(7920[horas] * 1000[kW] * 0,9)}$$

Cálculo para la energía primaria (Turbina de vapor)

$$EP[kWh] = \left(\frac{CU[kWh]}{0,9} \right) + HR \left(\frac{CU[kWh]}{\left(\frac{H}{P} \right)} \right)$$

Donde HR es el *heat rate* típico para la tecnología. Es similar al inverso del rendimiento eléctrico de un proceso, sin embargo este valor de referencia se presenta por energía del combustible (a diferencia del rendimiento eléctrico que se presenta por calor útil). Adicionalmente, el valor de esta variable depende de la potencia térmica que maneje el proceso, dado que las potencias térmicas calculadas a nivel de muestra estadística presentan valores de máximo 18 MWth (la tecnología se hace viable desde potencias térmicas cercanas a 10 MWth) la consultoría consideró apropiado emplear un HR típico para esta zona. Dicho cálculo se explica con más detalle en el Anexo D

Cálculo para la energía primaria (motor de combustión interna y turbina de gas)

$$EP[kWh] = \frac{CU[kWh]}{\varepsilon_i}$$

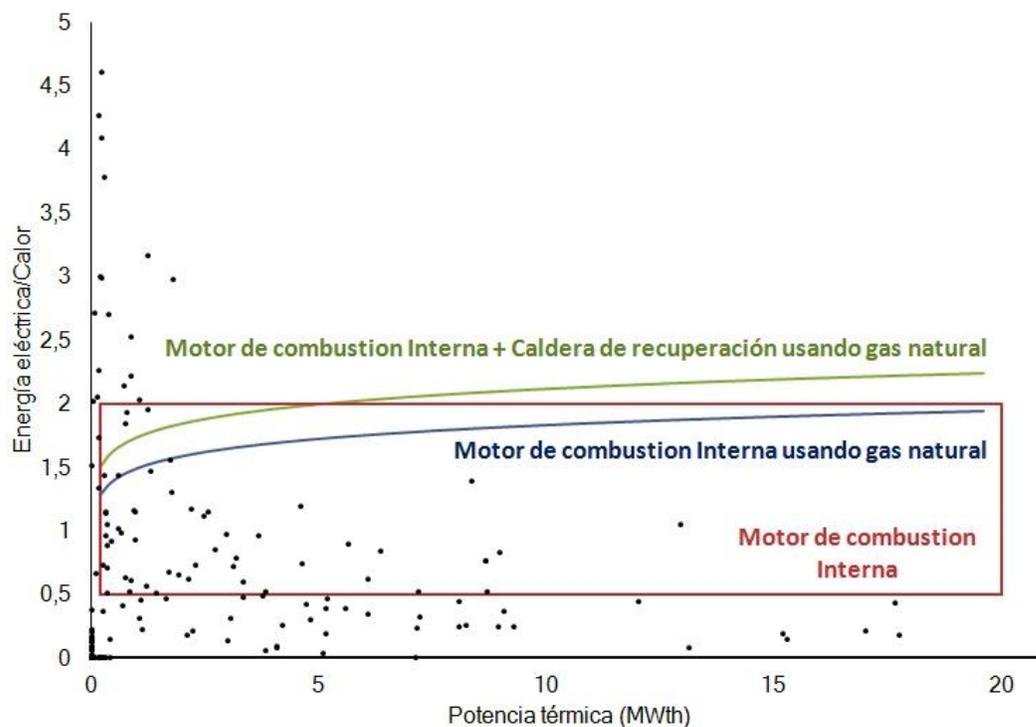
Donde ε_i : es eficiencia según sea el caso

A continuación se presenta la evaluación del REE para algunas combinaciones de combustible y aplicación tecnológica

El primer caso corresponde a los motores de combustión interna (Ver Figura 131), se puede apreciar dos líneas. La línea azul corresponde al rendimiento mínimo equivalente para un motor de combustión interna que utiliza gas natural como combustible, donde los gases de escape son usados directamente como energía para el proceso. La línea verde corresponde al REE para un motor de combustión interna con caldera de recuperación que utiliza gas natural. Los puntos de operación deben estar ubicados por encima de las líneas de eficiencia verde o azul según sea la tecnología. El motor de combustión interna ofrece una mayor zona de viabilidad en comparación con el sistema acoplado a la caldera de recuperación.

La viabilidad disminuye debido a que se requiere mayor energía primaria para obtener un mismo flujo de calor útil. Esta situación se presenta cuando el fluido de transferencia no puede ser gas de combustión, sino un aceite térmico o vapor con cierta calidad que depende del proceso.

Figura 131: Viabilidad bajo el criterio del REE para MCI empleando gas natural



• Establecimientos del sector industrial encuestados

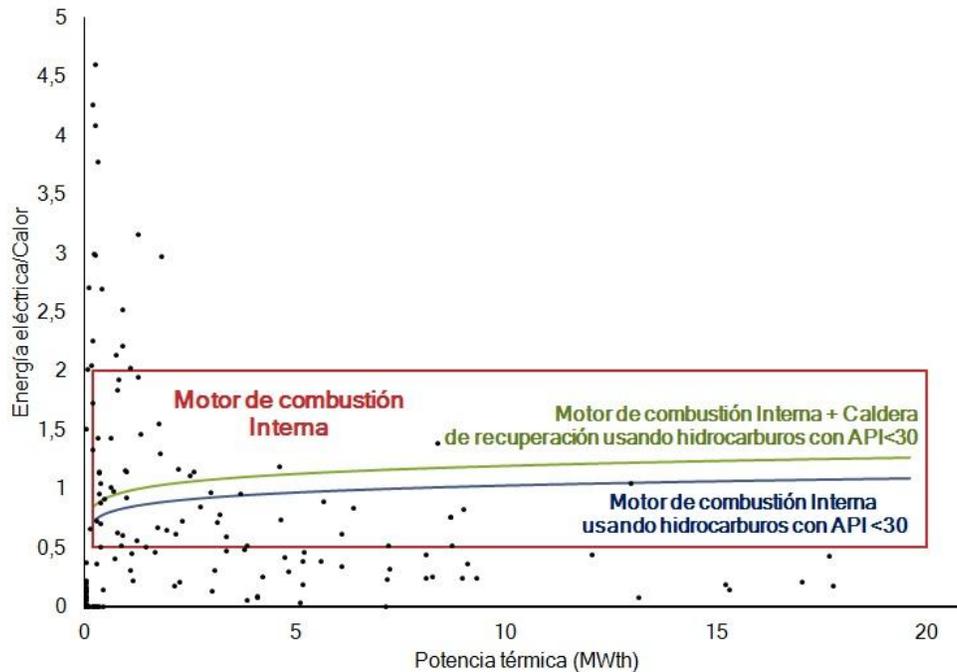
Fuente: Elaboración de la consultoría

La Figura 131 permite distinguir las unidades manufactureras que realmente podrían utilizar un motor de combustión interna con gas natural para ser cogeneradores aptos para vender excedentes, debido a que estarían operando en regiones menores a las permitidas por la CREG. Estos cogeneradores son los correspondientes a puntos por encima de las curvas de restricción del REE y dentro del recuadro de MCI.

Conviene anotar que para procesos de cogeneración de MCI con hidrocarburos con API>30 (p.e. el diésel oil) el comportamiento es prácticamente idéntico al caso anterior, ya que tienen un REE similar (con 53,5% y 51% respectivamente).

En consecuencia, la restricción regulatoria actual impide que establecimientos industriales con potencial técnico de cogeneración con MCI a gas natural y a derivados livianos puedan vender excedentes a la red.

Figura 132: Viabilidad bajo el criterio del REE para motores de combustión interna empleando hidrocarburos con API <30



• Establecimientos del sector industrial encuestados

Fuente: Elaboración de la consultoría

Para los hidrocarburos con API<30 la restricción del REE se presenta en la permite distinguir las unidades manufactureras que realmente podrían utilizar un motor de combustión interna con gas natural para ser cogeneradores aptos para vender excedentes, debido a que estarían operando en regiones menores a las permitidas por la CREG. Estos cogeneradores son los correspondientes a puntos por encima de las curvas de restricción del REE y dentro del recuadro de MCI.

Conviene anotar que para procesos de cogeneración de MCI con hidrocarburos con API>30 (p.e. el diésel oil) el comportamiento es prácticamente idéntico al caso anterior, ya que tienen un REE similar (con 53,5% y 51% respectivamente).

En consecuencia, la restricción regulatoria actual impide que establecimientos industriales con potencial técnico de cogeneración con MCI a gas natural y a derivados livianos puedan vender excedentes a la red.

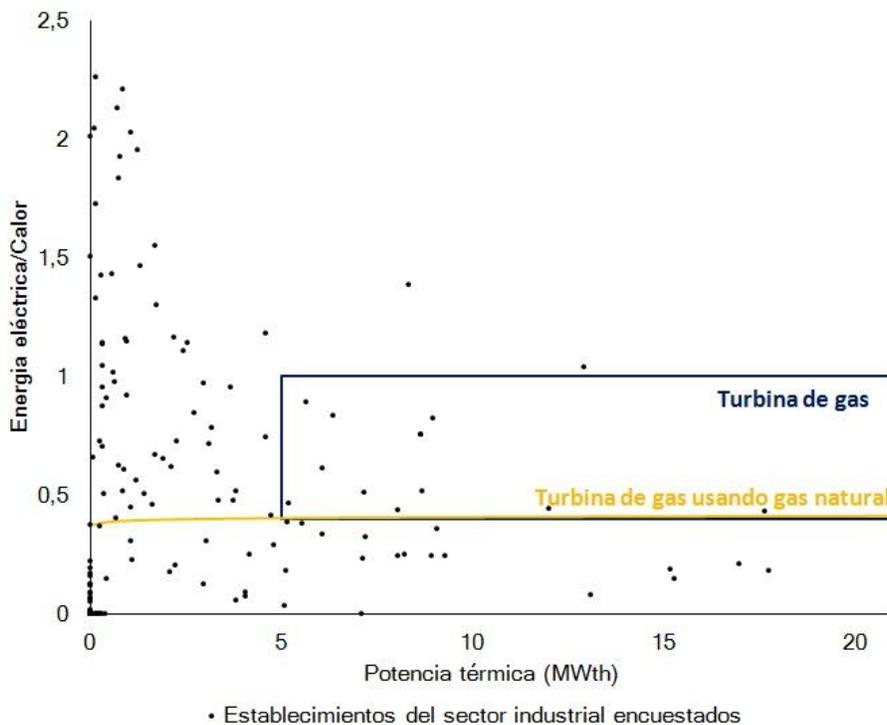
En este caso la zona de viabilidad es más amplia lo cual se debe a que el REE mínimo para este tipo de combustible es de 30%. A pesar de este hecho, la aplicación de esta tecnología se puede ver afectada por requisitos de calidad del combustible desde el punto de vista ambiental.

Para los hidrocarburos con $API > 30$ el comportamiento es prácticamente idéntico al del gas natural, ya que tienen el REE mínimo prácticamente igual con 51% y 53,5% respectivamente.

Para el caso de turbinas de gas presentado en la Figura 133, la línea amarilla corresponde al rendimiento mínimo equivalente consumando gas natural. La viabilidad no se ve afectada por el criterio del REE, ya que prácticamente toda la zona tecnológicamente viable está por encima del límite mínimo exigido. Para el caso de otros combustibles de uso directo como los hidrocarburos (i.e. sin necesidad de equipos de recuperación de calor), se presentan las siguientes particularidades:

- Para los hidrocarburos con $API > 30$ el comportamiento es prácticamente idéntico al del gas natural, ya que tienen el REE mínimo prácticamente igual con 51% y 53,5% respectivamente.
- Para los hidrocarburos con $API < 30$ la línea de viabilidad es menor a la presentada en el caso del gas natural. No se presenta por que prácticamente valida la zona de viabilidad (recuadro azul) completamente.

Figura 133: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de gas empleando gas natural

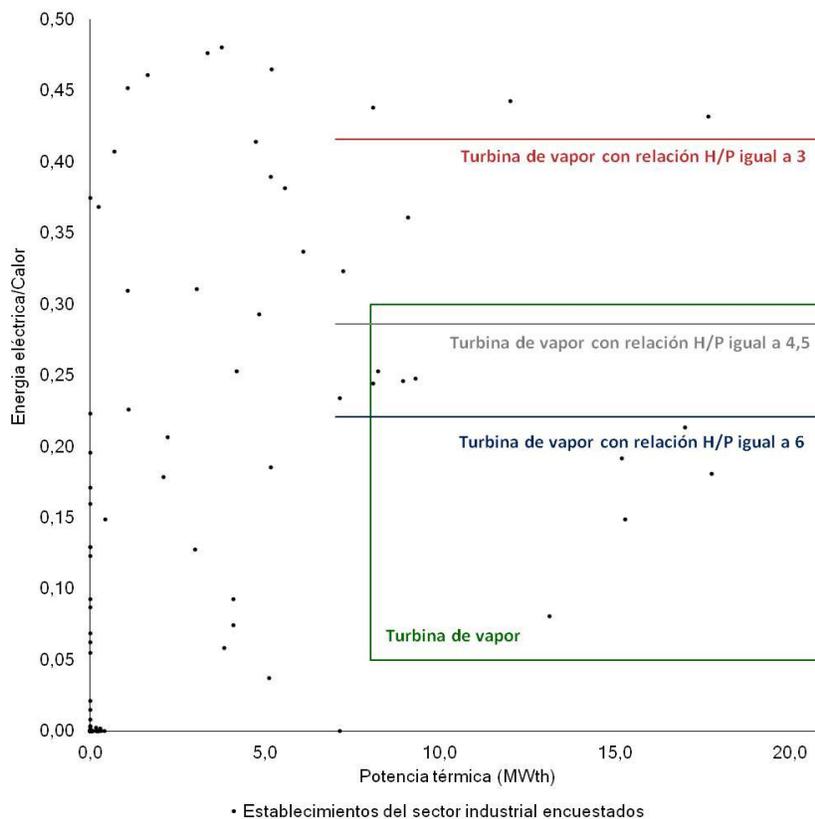


Fuente: Elaboración de la consultoría

En consecuencia en este caso la restricción regulatoria no impacta la viabilidad de esta clase de cogeneración.

El caso de turbina de vapor que usa como combustible carbón, se presenta en la Figura 134. Allí se pueden apreciar 3 líneas para diferentes relaciones H/P (*Heat/Power*) con un mismo REE mínimo. La relación H/P mínima es 3 (línea roja), la siguiente es 4,5 (línea gris) y la última es 6 (línea azul). No hay viabilidad cuando la relación mínima es igual a 3. Sin embargo, cuanto mayor sea esta relación la zona de viabilidad aumenta. Este comportamiento indica que a mayor requerimiento térmico (mayor necesidad térmica), más viable resulta ser la alternativa de la turbina de vapor.

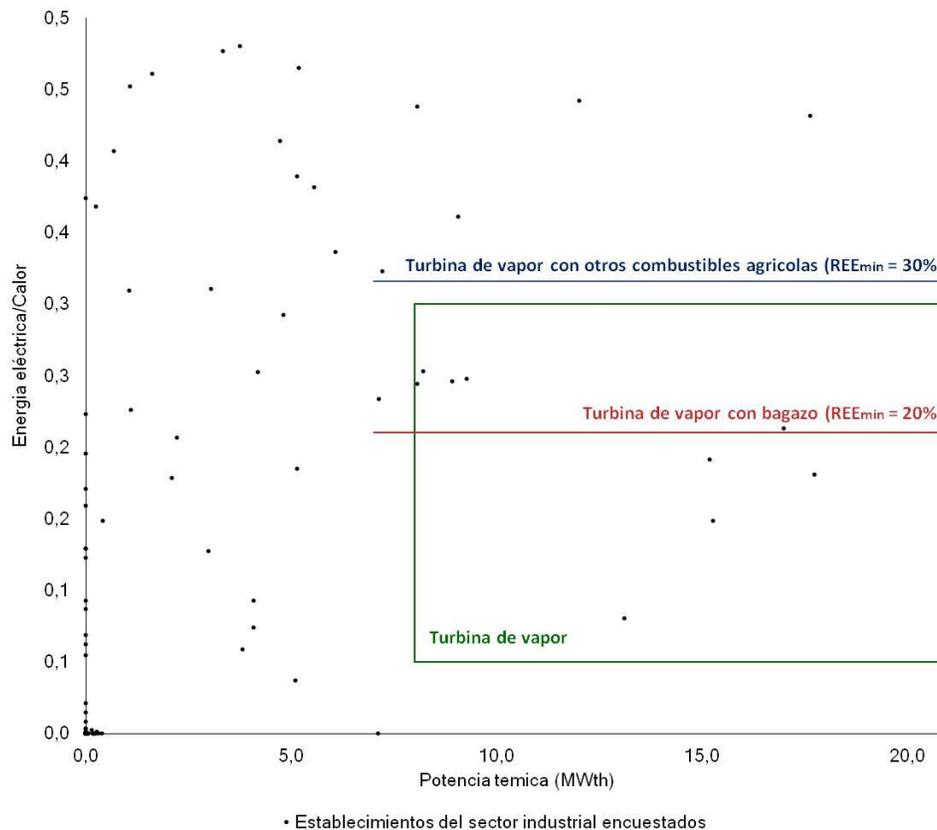
Figura 134: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de vapor a diferentes relaciones H/P



Fuente: Elaboración de la consultoría

Para la turbina de vapor que usa como combustible biomasa (Ver Figura 135 la CREG establece dos tipos de combustible: i) el primero corresponde al uso de bagazo y demás residuos de la caña (línea roja) en cuyo caso la zona de viabilidad disminuye de manera similar al caso del motor de combustión interna y ii) para los otros residuos agrícolas (línea azul) la viabilidad es prácticamente nula debido a que requiere producir más energía eléctrica por unidad de energía térmica útil que en el caso del bagazo.

Figura 135: Viabilidad bajo el criterio de eficiencia del REE para turbinas de vapor con diferentes residuos agrícolas



Fuente: Elaboración de la consultoría

6.1.2.4 Potencial económico en autogeneración y cogeneración.

De acuerdo con las metodologías expuestas en anexo D, fue posible establecer el potencial económico viable para autogeneración y cogeneración.

Potencial autogeneración

La Figura 136 presenta una nube de puntos correspondientes a cada como consumidor puro encuestado. El eje de abscisas representa la potencia equivalente a las compras realizadas a la red pública, mientras el eje de las ordenadas a la tarifa pagada (en ausencia de respuesta la tarifa fue asignada de acuerdo con su localización y nivel de tensión).

De otra parte la misma grafica contiene las curvas de los costos nivelados de la energia - CNE para diferentes tecnologias de autogeneracion los cuales fueron estimados de acuerdo con la metodologia expuesta en el anexo D.

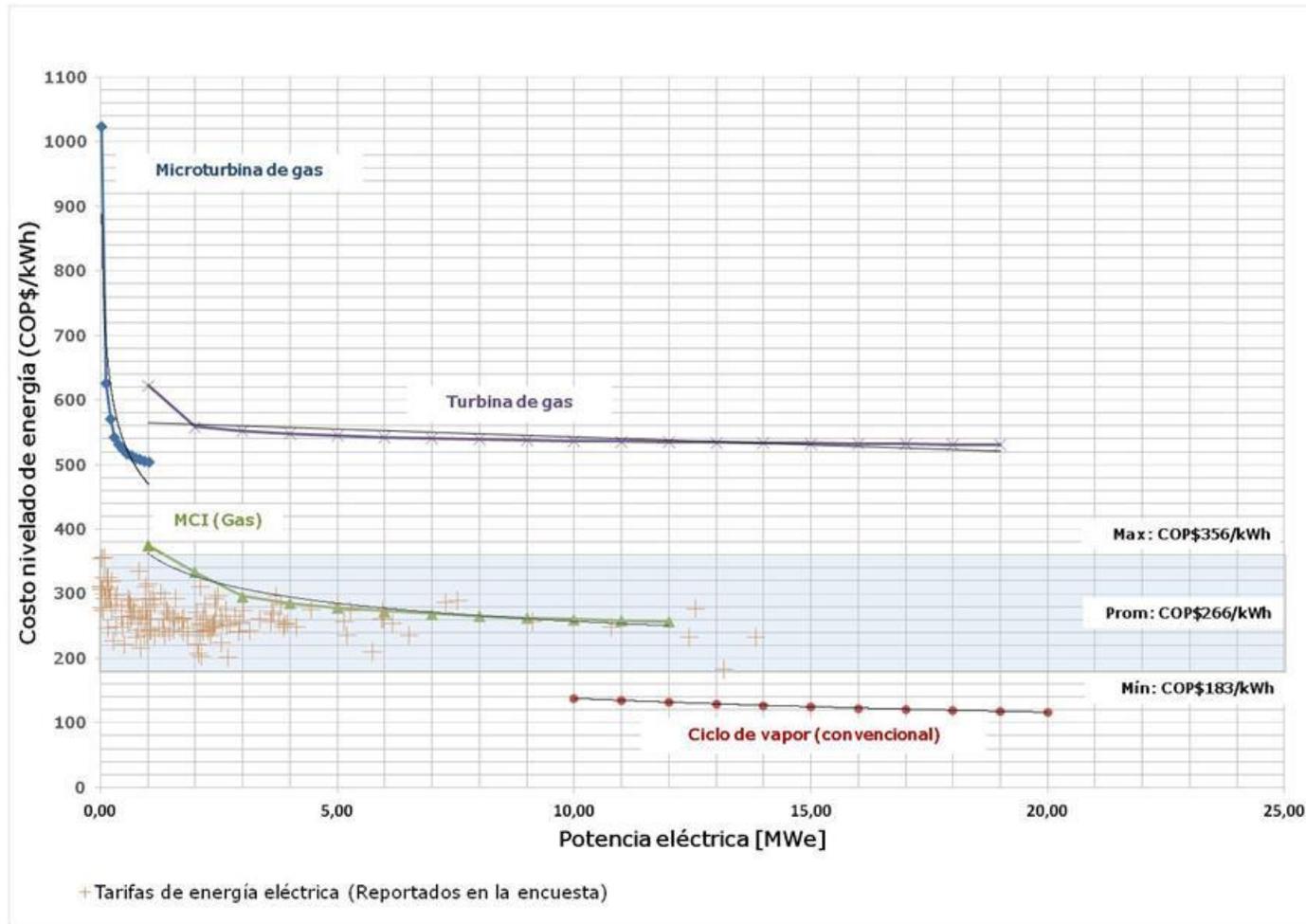
Se aprecia que las tarifas de energia electrica aplicada para los usuarios industriales encuestados están entre 356 y 183 COP\$/kWh con un promedio aritmetico en 266 COP\$/kWh. A medida que aumenta la potencia de planta equivalente para suplir la demanda, los usuarios no regulados incrementan su nivel de tension y acceden a mejores precios de energia.

Notese la concetracion de usuarios encuestados por debajo de 5MWe y la alta dispersion de tarifas.

Todos aquellos establecimientos que se ubiquen por encima de alguna de las curvas de CNE tienen viabilidad economica con la respectiva tecnologia. Resulta entonces lo siguiente:

- Los ciclos de vapor convencionales son competitivos a partir de una potencia instalada superior a 10MWe.
- En las curvas de CNE para MCI y TG consumiendo gas natural, existe un cambio brusco en la pendiente originado en una reducción de la tarifa del combustible asociada con un mayor volumen de consumo. Este cambio se da en valores cercanos a 2 MWe para TG y 3MWe en MCI.
- La tecnología más adecuada para las tarifas predominantes en la mayoría de los establecimientos encuestados es la de los motores de combustion interna.

Figura 136: Costo nivelado de energía para diferentes tecnologías de autogeneración



Fuente: Elaboración de la consultoría

- Existe una fuerte concentración de plantas equivalentes a las compras por debajo de 5 MWe con tarifas por debajo de 350 COP\$/kWh, lo que conduce a que ninguna de éstas puede ser atendida por MCI.
- Las microturbinas y turbinas a gas no son factibles económicamente.

De todo lo anterior se concluye que solamente para 10 MWe o más la implementación de ciclos de generación de vapor alimentados con carbón sería factible económicamente debido a que los costos de energía estarían por debajo de 150 COP\$/kWh, y viabilizan 62,8 MWe, los cuales se desagregan por código CIU Rev.4 en la siguiente tabla

Tabla 53: Potencias viables de autogeneración por CIU Rev. 4

| CIU Rev.4 | Subsector | Potencia económicamente viable |
|--------------|---|--------------------------------|
| 170 | Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón | 27,0 MWe |
| 201 | Fabricación sustancias químicas básicas, abonos y compuestos inorgánico | 12,6 MWe |
| 241 | Industrias básicas de hierro y de acero | 23,2 MWe |
| Total | | 62,8 MWe |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Finalmente, la gráfica anterior permite concluir que para que la autogeneración de un industrial se vuelva competitiva, es necesario que instale capacidades significativamente superiores a su demanda, de tal manera que pueda capturar las economías de escala y el costo de su generación se ubique por debajo de la tarifa de energía del SIN. Para una compra actual de energía dada, cuanto más alto sea el precio que pague al SIN, menor será la capacidad con excedentes que tendrá que instalar en una planta de autogeneración para que el costo de generación sea inferior a dicha tarifa. Ahora bien, para que un empresario decida instalar una capacidad significativamente superior a su demanda, tendría que percibir una gran certidumbre en los ingresos que obtendría por la venta de sus excedentes.

Potencial en cogeneración

Se partió de la información de caracterización térmica y eléctrica de las actividades industriales (Clasificadas con los códigos CIU Re. 4) para estimar los consumos térmicos de los establecimientos (solo consumidores puros) lo cual permite estimar

la potencia y el tipo de equipo (la tecnología). Para el cálculo de los costos de producción de electricidad en cada caso, se toman en consideración los costos específicos de inversión, de operación y mantenimiento, así como los del combustible aplicable al tipo de tecnología que se estudia (Ver anexo D).

Se considera además que algunas tecnologías poseen capacidades nominales estándar (Es decir, no son iguales a las potencias requeridas por los establecimientos) se presentan casos en los que los establecimientos podrían tener potencia de excedentes para vender al sistema interconectado.

Los supuestos para el cálculo del potencial económico actual son los siguientes:

- El combustible empleado es gas natural para los motores de combustión interna y la turbina de gas y el carbón para los ciclos de vapor.
- La metodología para el cálculo de los costos fijos y de operación de los equipos utiliza funciones de costos derivadas de bases de datos de proyectos previamente desarrollados por la consultoría (Ver Anexo D), complementados en algunos casos para este caso particular..
- Sobre el tema excedentes, se consideran los siguientes supuestos: i) Es posible vender el total de excedentes y ii) existe un precio razonable para la venta.
- La potencia eléctrica del sistema de cogeneración para cada establecimiento corresponde a la disponible al aprovechar la energía térmica estimada.
- Se consideran viables los proyectos que tienen un periodo de retorno de inversión menor a 10 años
- Para ser considerado viable se debe evaluar si la potencia requerida se encuentra dentro de las posibilidades comerciales (Ver criterio presentado en la gráfica del CNE, Figura 136).

A continuación se presentan los resultados obtenidos sobre potencias viables de cogeneración en el sector de industria.

Tabla 54: Potencias viables de cogeneración

| Esquema | Potencial económico [MW] |
|---------------------------------|--------------------------|
| MCI empleando gas natural | 17,4 |
| Ciclo de vapor empleando carbón | 27,0 |
| Total | 44,4 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Dados los tiempos de recuperación de capital no se encuentra potencial de cogeneración utilizando la tecnología de TG con gas como combustible. De igual manera, el costo de combustible tiene un gran impacto en este resultado. En cuanto al potencial del ciclo de vapor, la cifra inicial es de 118 MW. Sin embargo, al aplicar el criterio de la potencia eléctrica mínima disponible en el mercado (Turbinas de vapor con potencias mayores a 8 MW) la cifra disminuye a 27 MW. Esto es resultado del tamaño de industria colombiana que hace que los tamaños de planta requeridos sean muy pequeños, comparados con la disponibilidad técnica del mercado, esto es restricción de mercado.

6.2 SECTOR PETRÓLEO

La determinación del potencial en el sector obedece a particularidades de propias del sector de acuerdo a la filosofía de operación en la cadena productiva como se indica a continuación.

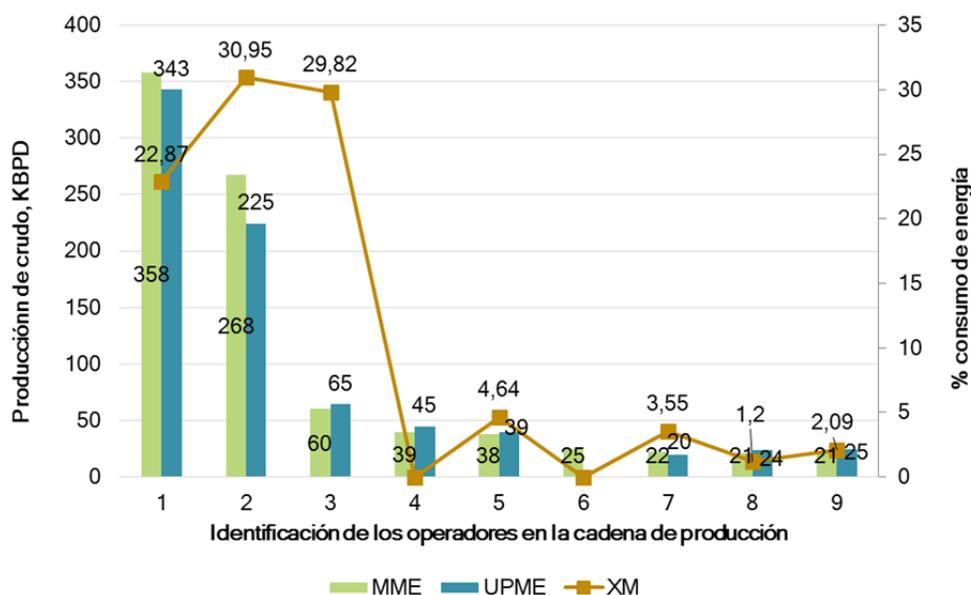
6.2.1 Producción

De las cifras consolidadas en el inventario, las empresas que representan el 84% de la producción nacional en el 2013 de un total de 1.008.366 BPD, reportaron una capacidad instalada en autogeneración de 789 MWe.

Para el cálculo del potencial de autogeneración para el resto de empresas, la metodología empleada consistió en la estimación proporcional entre la producción y las capacidades instaladas. Ver Figura 137.⁴⁶

⁴⁶ La identificación de los operadores en la figura se encuentran en el Anexo E.

Figura 137: Relación entre producción y consumo de energía



Fuente: Elaboración de la consultoría

De acuerdo con lo anterior, la estimación de autogeneración en proporción directa con respecto a la producción restante (16%), cuyas fuentes no revelaron información, se tendría una cifra de 19,5 MWe.

6.2.2 Transporte

Para el área de transporte, se encontró autogeneración en una de las empresas del sector, con 33.5 MWe y espera aumentar en los próximos 2 a 3 años en unos 20 MWe para el cambio de los Motores de Combustión (MCI) por Motores Eléctricos, en sus bombas. A diferencia de esta empresa, las restantes toman su energía del SIN, lo que se traduce en que existiría un potencial teórico muy alto, sin embargo, prima la filosofía de operación y las prácticas normales de diseño de la infraestructura con los cual no se considera que exista un potencial de autogeneración en esta etapa de la cadena.

Solo para efectos de claridad se puede decir que en Transporte, la demanda, se da por necesidades y proyectos específicos, que tienen en cuenta en su diseño los requerimientos de este tipo de infraestructura, que dependen entre otros, de los siguientes factores:

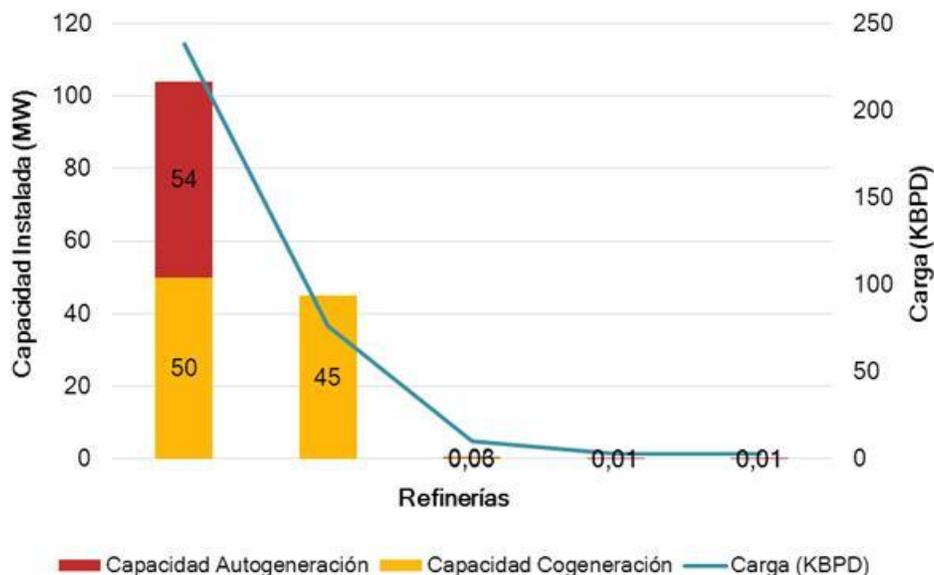
- Volumen de crudo por transportar
- Gravedad específica de los fluidos
- Diámetro de los tubos
- Perfil del trazado del oleoducto

Las necesidades de construir más ductos dependen igualmente de los descubrimientos de nuevos yacimientos y de la entrada en operación de los mismos, lo que genera a su vez un centro de acopio en donde hay necesidad de evacuación de fluidos.

6.2.3 Refinerías

En esta etapa de la cadena, se considera que existe un potencial en las refinerías que no fueron consultadas las cuales aportan el 5% de la capacidad de carga total del país.

Figura 138: Relación entre el porcentaje de carga de las refinerías y la capacidad instalada en Autogeneración y Cogeneración



Fuente: Elaboración de la consultoría

Dadas las cifras consolidadas en el inventario, las empresas que representan el 95% de la producción nacional en el 2013 de un total de 314 KBPD, reportaron una capacidad instalada en autogeneración de 54 MWe, lo que significa que haciendo

una estimación en proporción directa con respecto a la producción restante (5%), cuyas fuentes no revelaron información, la autogeneración respectiva equivaldría a 2,84 MWe para un total de 56,8 MWe. Manteniendo la misma proporción, los agregados de cogeneración en las refinerías que no revelaron la información corresponden a 5 MWe, para un total de 100 MWe.

6.2.4 Consolidado del sector petróleo

En aras de resumir el potencial en este sector, la Tabla 55 resume las capacidades en autogeneración y cogeneración.

Tabla 55: Potencial del sector petróleo

| Área de la cadena | Autogeneración [MW] | Cogeneración [MW] |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| Producción | 19,5 | - |
| Transporte | 20 | - |
| Refinación | 2,8 | 5 |
| Total | 42,3 | 5 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

6.3 SECTOR DE COMERCIO, PÚBLICO, HOTELES Y HOSPITALES

Los potenciales de aprovechamiento de fuentes renovables en el sector de comercio, público, hoteles y hospitales presentan gran incertidumbre debido a que los resultados de las encuestas demuestran muy bajo conocimiento del tema en general como también de las tecnologías y la estructuración de proyectos de autogeneración. Se desconocen las condiciones regulatorias actuales del mercado para proyectos de cogeneración y autogeneración y de los nuevos contextos con la reglamentación de la ley 1715/2014.

La capacidad instalada en energías renovables es mínima, solamente se reportan algunos proyectos de energía solar fotovoltaica en grandes superficies y un proyecto de cogeneración en un hotel; sin embargo, existe interés de acuerdo con los resultados de percepción, particularmente en proyectos de energía solar fotovoltaica en grandes superficies y hoteles, como también en proyectos de cogeneración en hospitales y hoteles.

En relación con los usos finales se identificó como resultado del estudio oportunidades por ahorro de energía en función de cambios de tecnologías de uso

final en el sector; sin embargo, es pertinente realizar encuestas y evaluación de usos térmicos para determinar potenciales energéticos, con mayor interés en la zonas templadas y cálidas, especialmente en hoteles, como también en hospitales y grandes superficies en segundo lugar

En este contexto y con los resultados identificados en el presente estudio se considera pertinente profundizar en las barreras para la realización de proyectos de autogeneración y cogeneración y realizar un inventario basado en visitas de campo, mediciones y auditorías energéticas que permitan llegar a estimar potenciales técnicos y de mercado en cogeneración y autogeneración.

De todas formas, con la información recolectada y analizada se podrían estimar potenciales en energía solar fotovoltaica a ser instalada en los techos de las instalaciones físicas; aunque se manifestó por parte de los encuestados baja disponibilidad de las áreas para instalaciones fotovoltaicas por los tipos de construcciones que fueron diseñadas con otros criterios y que están de alguna manera ya intervenidas para alojar las salidas de humos, salidas de ventilación y ubicación de radiadores de los sistemas de aire acondicionados y/o refrigeración.

6.4 POTENCIAL DE EXCEDENTES

El potencial de venta de excedentes al SIN para el período 2015-2019 solo se estima para el sector industrial, debido a que el sector petróleo no está interesado en venderlos⁴⁷, y los sectores de comercio y público o no poseen capacidad de autogeneración o cogeneración.

⁴⁷ La excepción podría estar en períodos de racionamiento por déficit de generación (derivados, por ejemplo, de la ocurrencia de sequías prolongadas) o períodos de altos precios en la bolsa de energía, durante los cuales las empresas petroleras con capacidad de respaldo se vean motivadas (por ejemplo, por tener acuerdos de Demanda Desconectable Voluntaria con su comercializador)” a encender sus equipos de autogeneración.

CAPÍTULO 7

7 PROYECCIÓN DE LA AUTOGENERACIÓN Y LA COGENERACIÓN

A continuación se presenta la metodología y los resultados para las proyecciones de los sectores de estudio abordando diferentes metodologías de acuerdo con la mayor o menor disponibilidad de información en cada uno de ellos.

7.1 SECTOR DE INDUSTRIA

7.1.1 Metodología

Las proyecciones del potencial de la autogeneración y de la cogeneración para los próximos 5 años (2015 a 2019) parten de la base del inventario y del potencial viable actual calculado en el Capítulo anterior (que en adelante se llamarán inventario y potencial del año 0, respectivamente) y se proyectan considerando las expectativas de evolución de las siguientes variables:

- Crecimiento real esperado de la industria, medido por el PIB agregado del sector. Naturalmente, el potencial (tanto de autogeneración, como de cogeneración) tendrá una correlación positiva con el PIB industrial (es decir, si crece la producción real del sector, es previsible que el potencial también crezca, y, al contrario, si decrece el sector, se espera que el potencial decrezca).
- Evolución esperada del precio de la energía eléctrica en el SIN. La correlación entre el potencial y este precio se espera que sea positiva. Si el precio de la energía eléctrica en el SIN sube, se espera que el potencial de autogeneración y de cogeneración suba, y viceversa.
- Evolución esperada del costo de la energía autogenerada o cogenerada. Si este costo aumenta, se espera que el potencial decrezca y, en consecuencia, la correlación es negativa.
- Evolución de los precios (costos) relativos entre el costo de la energía autogenerada o cogenerada y el precio de la energía eléctrica en el SIN. Se tiene una correlación negativa dado que si este precio relativo sube el potencial decrece y viceversa. Nótese que esta variable amplía la información contenida en las dos variables anterior.

Este comportamiento del potencial se puede expresar mediante el siguiente modelo econométrico general ⁴⁸ :

$$Pot_t = Pot_0(1 + t_{PIB})^\alpha (1 + t_{E_SIN})^\beta (1 + t_C)^\gamma (1 + r_{C/SIN})^\delta$$

Donde:

- Pot_t : Potencial de autogeneración (o de cogeneración) en el año t, expresada en MW. Para t = 0 se tiene el potencial actual identificado en el presente estudio
- t_{PIB} : Tasa de crecimiento real anual de largo plazo del PIB industrial, expresada en por unidad.
- t_{E_SIN} : Tasa de crecimiento real anual de largo plazo de la energía eléctrica en el SIN, expresada en por unidad.
- t_C : Tasa de crecimiento real anual de largo plazo del costo de autogenerar (o de cogenerar), expresada en por unidad.
- $r_{C/SIN}$: Precios relativos entre el costo de autogeneración (o de cogeneración) y el precio de la energía eléctrica en el SIN, expresada en por unidad.
- α : Elasticidad del potencial de autogeneración (o de cogeneración) al PIB industrial
- β : Elasticidad del potencial de autogeneración (o de cogeneración) al precio de la energía eléctrica en el SIN
- γ : Elasticidad del potencial de autogeneración (o de cogeneración) al costo de autogenerar (o de cogenerar)
- δ : Elasticidad del potencial de autogeneración (o de cogeneración) al precio relativo entre el costo de autogenerar (o de cogenerar) y el precio de la energía en el SIN

7.1.2 Información

El inventario actual de autogeneración (año 2014 o año 0) en la industria y su potencial se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 56: Inventario y potencial actual de autogeneración en la industria

| | |
|--|--------|
| Inventario actual (año 0) de autogeneración ¹ | 234 MW |
|--|--------|

⁴⁸ Ver por ejemplo la descripción teórica del módulo de demanda MACRO-DEMAND del modelo ENPEP

| | |
|--|---------|
| Potencial adicional actual (año 0) de autogeneración ¹ | 62,7 MW |
| Participación de energéticos en potencial actual de autogeneración industria 2014 ¹ | |
| Gas natural | 0% |
| Hidráulica | 0% |
| Carbón | 100% |

¹No incluye potencial por bagazo ni con residuos de palma.

Fuente: Elaboración de la consultoría

Por su parte, el inventario de cogeneración y su potencial actual en la industria se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 57: Inventario y potencial actual de cogeneración en la industria

| | |
|---|----------|
| Inventario actual (año 0) de cogeneración ¹ | 596,7 MW |
| Potencial adicional actual (año 0) de cogeneración ¹ | 44,4 MW |
| Participación de energéticos en potencial actual de cogeneración industria 2014 | |
| Gas natural | 39,2% |
| Biomasa | 0% |
| Carbón | 60,8% |
| Crudo | 0% |

¹No incluye potencial por bagazo ni con residuos de palma.

Fuente: Elaboración de la consultoría

En las tablas anteriores se aprecia que, si bien hoy existe capacidad instalada de autogeneración y cogeneración con diferentes tecnologías y fuentes energéticas, el potencial actual solo resulta económicamente viable en dos casos, con gas natural usando motores de combustión interna y con carbón utilizando ciclos con caldera y turbina de vapor.

La tasa de crecimiento de largo plazo del PIB industrial suministrada por la UPME es del 2,3% por año para el quinquenio en estudio. Esta tasa es agregada para todo el sector manufacturero.

La tasa de crecimiento de la electricidad se obtiene de los análisis de largo plazo realizados por la UPME con el modelo SDDP y los crecimientos de los energéticos se toman de las proyecciones de precios de los combustibles para generación eléctrica calculadas por la UPME (UPME, 2014). Se considera que los costos de la pequeña hidroelectricidad se incrementan de manera importante en razón de que,

por un lado son muy escasos los aprovechamientos próximos a los centros de consumo (i.e., las fábricas) y, por otro, las regulaciones ambientales y las comunidades seguirán ejerciendo presión sobre estos desarrollos. Finalmente, los costos de generación con biomasa se consideran constantes en términos reales. Ver Tabla 58.

Tabla 58: Incrementos de precios de largo plazo de la energía

| Energético | Unidad | Actual (año 0) | Largo plazo (año 5) | Incremento ⁵ |
|--|-----------|----------------|---------------------|-------------------------|
| Energía eléctrica ^{1,2} | cUS\$/kWh | 10 | 11 | 10% |
| Petroleo ³ | US\$/B | 100 | 80 | -20% |
| Gas natural ³ | US\$/MBTU | 4,5 | 6,0 | 33,3% |
| Carbón ³ | US\$/MBTU | 2,5 | 2,4 | -4,0% |
| FO#2 (ACPM) ³ | US\$/gal | 4,4 | 4,2 | -4,5% |
| Pequeña hidroelectricidad ⁴ | US\$/kWh | 4,0 | 4,4 | 10% |

Fuentes:

¹ XM,

² UPME con base en el análisis de largo plazo utilizando el modelo SDDP y XM,

³ UPME. Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica 2014 y cálculos de la consultoría

⁴ Elaboración de la consultoría

⁵ Corresponden a incrementos promedios del precio del suministro en el sitio del establecimiento comercial

Finalmente, las elasticidades del potencial de autogeneración y de cogeneración con respecto a las demás variables se presentan en la Tabla 59.

Tabla 59: Elasticidades del potencial de autogeneración y cogeneración frente a variables

| Elasticidad de largo plazo | Autogeneración | Cogeneración |
|---|----------------|--------------|
| Al crecimiento del PIB industrial | 0,70 | 0,75 |
| Al precio de la energía eléctrica en el MEM | 1,30 | 1,30 |
| Al precio de la fuente energética | -0,70 | -0,80 |
| Al precio relativo de la energía eléctrica en el MEM frente al energético | -0,80 | -0,80 |

Fuente: Experiencia internacional y análisis propio de la consultoría

Sobre estas elasticidades conviene hacer una discusión. En primer lugar la forma funcional del modelo de regresión subyacente supone elasticidades de largo plazo

linealmente independientes, lo cual, de una parte, es una exigencia teórica del modelo, y de otra, un supuesto razonable.

De otra parte, el estudio de las elasticidades de la demanda de energía ha ocupado gran atención en las últimas tres décadas, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Estas elasticidades aplican de manera directa a la autogeneración como reacción de los consumidores pertenecientes a la industria manufacturera. Sin embargo, la respuesta de la demanda de la industria a las posibilidades de cogeneración cuenta con pocas referencias disponibles. Se destaca el trabajo elaborado por Blarke en Dinamarca (BLARKE., 2011) el cual, ante la usencia de cálculos para Colombia, se ha tomado como referencia para las elasticidades utilizadas en este estudio. Para reconocer la incertidumbre de estas elasticidades, como se verá, se realizan análisis de sensibilidad del 20% por encima y por debajo de los valores de referencia.

Es importante anotar que las elasticidades de largo plazo reflejan un comportamiento estructural de respuesta de los consumidores frente a modificaciones creíbles de las variables de interés, es decir, cuando los consumidores aprecian que, más allá de los movimientos coyunturales, las tendencias son verosímiles.

7.1.3 Resultados sector de industria

7.1.3.1 Autogeneración

La Tabla 60 contiene las estimaciones calculadas para la autogeneración con carbón e incluye sensibilidades del 20% hacia arriba y hacia abajo en las elasticidades del potencial a cada variable.

Tabla 60: Proyección del potencial de autogeneración con carbón

| Año | Crecimiento PIB industrial | Crecimiento precios de la energía eléctrica en el MEM | Crecimiento costo de autogenerar con carbón | Cambio relativo de costo de autogenerar con carbón y el precio de la energía eléctrica en el MEM | Potencial con carbón [MW] | | |
|------|----------------------------|---|---|--|---------------------------|-------|------|
| | | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 2014 | - | - | - | - | 62,7 | 62,7 | 62,7 |
| 2015 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 66,3 | 67,2 | 68,2 |
| 2016 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 71,1 | 72,1 | 73,1 |

| Año | Crecimiento PIB industrial | Crecimiento precios de la energía eléctrica en el MEM | Crecimiento costo de autogenerar con carbón | Cambio relativo de costo de autogenerar con carbón y el precio de la energía eléctrica en el MEM | Potencial con carbón [MW] | | |
|------|----------------------------|---|---|--|---------------------------|-------|------|
| | | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 2017 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 76,2 | 77,3 | 78,4 |
| 2018 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 81,7 | 82,9 | 84,0 |
| 2019 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 87,6 | 88,9 | 90,1 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Se aprecia que a pesar de la mayor complejidad del manejo del carbón y el entorno desfavorable para el uso de este recurso por razones ambientales, la reducción que se espera en los precios del carbón (internacional y nacional) conduce a un incremento del potencial de cogeneración con esta fuente.

Para el gas natural y la hidroelectricidad no se identificó crecimiento en el potencial por las siguientes razones:

- Para el gas natural: incertidumbre en su disponibilidad y expectativa de crecimiento en los precios del combustible superiores al incremento de las tarifas de la electricidad en el SIN. La época de un gas natural económico que generó una demanda importante en la industria quedó atrás.
- Para la hidroelectricidad: inflexibilidad de la localización de la fuente cerca al consumo.

7.1.3.2 Cogeneración

Las siguientes tablas presentan el potencial de cogeneración estimado para los próximos 5 años con carbón y gas natural como energéticos, con sensibilidades del 20% hacia arriba y hacia abajo en las elasticidades del potencial a cada variable.

Tabla 61: Proyección del potencial de cogeneración con carbón

| Año | Crecimiento PIB industrial | Crecimiento precios de la energía eléctrica en el MEM | Crecimiento costo de cogenerar con carbón | Cambio relativo de costo de cogenerar con carbón y el precio de la energía eléctrica en el MEM | Potencial con carbón (MW) | | |
|------|----------------------------|---|---|--|---------------------------|-------|------|
| | | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 2014 | - | - | - | - | 27,0 | 27,0 | 27,0 |
| 2015 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 28,6 | 29,0 | 29,4 |

| Año | Crecimiento PIB industrial | Crecimiento precios de la energía eléctrica en el MEM | Crecimiento costo de cogenerar con carbón | Cambio relativo de costo de cogenerar con carbón y el precio de la energía eléctrica en el MEM | Potencial con carbón (MW) | | |
|------|----------------------------|---|---|--|---------------------------|------|------|
| | | | | | | | |
| 2016 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 30,7 | 31,2 | 31,6 |
| 2017 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 33,0 | 33,5 | 34,0 |
| 2018 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 35,5 | 36,0 | 36,5 |
| 2019 | 2,3% | 2% | -0,8% | -2,7% | 38,1 | 38,7 | 39,2 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

El potencial de cogeneración con carbón se debe a la expectativa de decrecimiento de los precios de este energético y al aumento de competitividad respecto a la energía eléctrica del SIN.

La Tabla 62 presenta la evolución del potencial de cogeneración con gas natural para el horizonte 2015-2019.

Tabla 62: Proyección del potencial de cogeneración con gas natural

| Año | Crecimiento PIB industrial | Crecimiento precios de la energía eléctrica en el MEM | Crecimiento costo de cogenerar con gas natural | Cambio relativo de costo de cogenerar con gas natural y el precio de la energía eléctrica en el MEM | Potencial con gas natural [MW] | | |
|------|----------------------------|---|--|---|--------------------------------|-------|------|
| | | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 2014 | - | - | - | - | 17,4 | 17,4 | 17,4 |
| 2015 | 2,3% | 2% | 6,7% | 4,6% | 16,8 | 16,6 | 16,5 |
| 2016 | 2,3% | 2% | 6,7% | 4,6% | 16,1 | 15,9 | 15,8 |
| 2017 | 2,3% | 2% | 6,7% | 4,6% | 15,4 | 15,2 | 15,1 |
| 2018 | 2,3% | 2% | 6,7% | 4,6% | 14,7 | 14,6 | 14,4 |
| 2019 | 2,3% | 2% | 6,7% | 4,6% | 14,1 | 13,9 | 13,8 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

De la Tabla 62, se observa que el potencial de cogeneración decrece en 5 años en un 20,6% del valor inicial, lo cual se explica, principalmente debido al aumento esperado de los precios del gas natural y la consecuente pérdida de competitividad de la cogeneración con este combustible frente las tarifas de la red pública.

7.1.4 Caso específico del sector de industria - agroindustria de la palma de aceite

El gremio que agrupa a los principales actores de la palma de aceite y con cubrimiento en todo el territorio nacional tiene unos estimativos de la capacidad de generación de energía eléctrica bajo el esquema de Cogeneración que puede ser implementada en cada una de las plantas. En efecto, sus propias estimaciones arrojan un potencial de 246 MW con un estimado de excedentes que podrían ser colocados en el sistema de 191 MW, lo cual representa casi el 78%. Esa alta cifra de excedentes se explica en el hecho que su proceso productivo involucra usos térmicos pero en baja proporción al potencial energético de sus residuos industriales que pueden ser empleados como combustible para la producción combinada de electricidad y calor. La cifra estimada por el gremio ha sido entregada a esta Consultoría agrupada en sus cuatro propias regiones, (ver la tabla a continuación) esto es Norte, Centro, Oriental y Sur-Occidental.

Tabla 63: Estimación de capacidad de cogeneración y excedentes agroindustria de la palma de aceite

| Región | Potencial total [MW] | Potencial excedentes al S.I.N. [MW] |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|
| Centro | 68,4 | 53,1 |
| Norte | 66,0 | 51,3 |
| Oriental | 97,7 | 75,9 |
| Sur-Occidental | 14,5 | 11,3 |
| Total | 246,6 | 191,6 |

Fuente: FEDEPALMA y elaboración de la consultoría

De manera complementaria las fuente consultada establece el año 2017 como la fecha probable para la implementación de estos proyectos, sin embargo, para efectos de este estudio y siendo más conservativos, esta Consultoría hace una propuesta de considerar una proyección en la cual en los próximos cinco años se desarrolla solo el 50% y de manera gradual progresiva. Creemos que este escenario podría ser más factible de darse puesto que son muchas plantas de pequeña capacidad (más de 50) y su desarrollo debe romper una “inercia” que en otros sectores también se ha dado, como son los casos de la industria azucarera y cementera que hoy son reconocidas como reconocidos aportantes de generación propia y excedentaria.

Las tablas que se presentan a continuación ilustran este escenario de proyección propuesto por la consultora

Tabla 64: Proyección de la cogeneración agroindustria de la palma de aceite - Periodo 2015 - 2019

| Región | Potencial total [MW] | Instalación anual estimada [MW] | | | | | 50% Total [MW] |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | | 0% 2015 | 5% 2016 | 10% 2017 | 15% 2018 | 20% 2019 | |
| Centro | 68,4 | 0,0 | 3,4 | 6,8 | 10,3 | 13,7 | 34,2 |
| Norte | 66,0 | 0,0 | 3,3 | 6,6 | 9,9 | 13,2 | 33,0 |
| Oriental | 97,7 | 0,0 | 4,9 | 9,8 | 14,7 | 19,5 | 48,9 |
| Sur-Occidental | 14,5 | 0,0 | 0,7 | 1,5 | 2,2 | 2,9 | 7,3 |
| Total | 246,6 | 0,0 | 12,3 | 24,7 | 37,0 | 49,3 | 123,3 |
| Total Incremental⁴⁹ | | 246,6 | 258,9 | 271,3 | 283,6 | 295,9 | - |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Las cifras de porcentaje incluidas en la tabla anterior, indican la implementación anual esperada sobre el total para cada año.

Como complemento y ligado al anterior desarrollo a continuación se presentan los estimativos de excedentes.

Tabla 65: Proyección de excedentes de la agroindustria - Periodo 2015 - 2019

| Región | Potencial excedentes al S.I.N. (MW) | Estimación excedentes anuales (MW) | | | | | Total [MW] |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | |
| Centro | 53,1 | 0,0 | 2,7 | 5,3 | 8,0 | 10,6 | 26,6 |
| Norte | 51,3 | 0,0 | 2,6 | 5,1 | 7,7 | 10,3 | 25,6 |
| Oriental | 75,9 | 0,0 | 3,8 | 7,6 | 11,4 | 15,2 | 38,0 |
| Sur-Occidental | 11,3 | 0,0 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 2,3 | 5,6 |
| Total | 191,6 | 0,0 | 9,6 | 19,2 | 28,7 | 38,3 | 95,8 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Como conclusión de todo lo anterior, se puede decir que este sector tiene un gran potencial de cogeneración a ser desarrollado en los próximos años y bajo el concepto de fuentes no convencionales de energía renovables y que se ha proyectado bajo un escenario probable de desarrollo para los próximos cinco años.

⁴⁹ El cálculo se realiza sobre el año de referencia (2014).

7.1.5 Sector azucarero (Ingenios)

De acuerdo con información publicada por ASOCAÑA y confirmada por el Consultor durante la ejecución de estudio, las proyecciones de capacidad instalada y de excedentes de forma agregada de los ingenios asociados a esta organización, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 66: Capacidad instalada actual y potencia en excedentes en cogeneración [MW]-ASOCAÑA.

| Descripción | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|------------------------|------|------|-------|------|
| Capacidad Instalada | 206 | 260 | 290 | 360 |
| Potencia en excedentes | 64,5 | 86 | 112,4 | 166 |

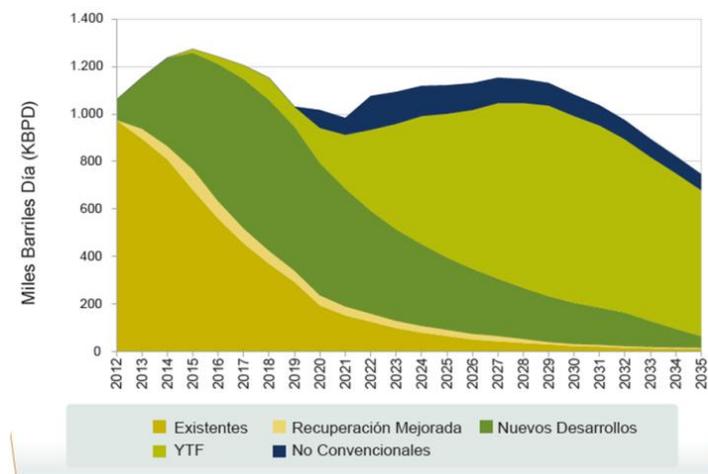
Fuente: ASOCAÑA Octubre 2014

7.2 SECTOR PETROLEO

Como se observa en la Figura 139 (UPME, 2013), para el año 2012, a nivel nacional, se tenía una proyección de producción mayor a 1.000 KBPD, que resultaba de adicionarle a la producción existente, incrementos por recuperación mejorada y nuevos desarrollos, lo que no se cumplió, y si se miran los resultados reales de los años 2013 y 2014, hay que aceptar que no le fue posible a la industria petrolera nacional cumplir con las proyecciones de producción. Con el agravante de la baja en los precios internacionales de crudo y las cifras de retorno de los proyectos, los establecimientos se aprestan a replantear el camino y la estrategia para conducir el sector petróleo por rumbo seguro y poder sortear las dificultades que éste atraviesa.

Con base en todo lo anterior, el pico máximo de producción en la figura, estaría desplazado en el calendario por lo menos de 3 a 5 años, durante los cuales, no se esperaría un incremento de la producción en el periodo 2015 al 2019.

Figura 139: Proyección de producción de petróleo en Colombia



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2013

Considerando el volumen de producción como el indicador principal que maneja todos los aspectos de la explotación, el dimensionamiento de facilidades y procesos, los requerimientos de energía, la logística y complejidad de la operación, etc., es de preverse que los proyectos que demanden fuerte inversión de capital, podrían sufrir demoras en su aprobación e implementación.

Ahora bien, entrando a casos puntuales, en cuanto a la autogeneración se refiere, se proyecta crecimiento en los Llanos Orientales, en razón a la creciente producción de crudo pesado en los establecimientos que suman el 62,1% de la producción nacional:

- Se tienen identificados proyectos concretos que suman 35,2 MW.
- Existen posibles proyectos, materia de estudio actualmente, que hablan de la construcción de una gran Termoeléctrica del orden de 700 MW para alimentar necesidades de todas las empresas cercanas a Cusiana (Casanare).

El plan definitivo será el que resulte de la revaluación de necesidades del sector petróleo, en los momentos de coyuntura que se viven actualmente con la caída de los precios a nivel internacional. La siguiente tabla resume las ampliaciones de generación informadas por una de las compañías.

Tabla 67: Ampliaciones de autogeneración - Campos de producción [MW]

| Tipo | Campo ⁵⁰ | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----|--------------|----|---|---------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Prime Power - Gas | 10 | - | - | 12 | 5 | - | 1,6 | 1,5 | - | 1,5 |
| Prime Power - Diésel / Combustóleo | | | 3,65 | - | - | - | - | - | - | - |
| Adicional a ser comprada a la red | 4 | 21 | - | - | - | 0,01 | 1,3 | 0,5 | 0,1 | - |
| Capacidad futura de generación de excedentes | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ubicación de los campos: | | | | | | | | | | |
| 1: Santander | | | 4: Bolívar | | | 7: Santander | | | | |
| 2: Antioquia | | | 5: Bolívar | | | 8: Cesar | | | | |
| 3: Antioquia | | | 6: Santander | | | 9: Cesar | | | | |
| | | | | | | 10: Santander | | | | |

Fuente: Información recopilada en las encuestas

Las ampliaciones de generación en Putumayo que fueron suministradas por las mismas operadoras de la Tabla 68, contemplan la instalación de 131 MW para el 2019.

Tabla 68: Ampliaciones de generación en el departamento de Putumayo en MW

| Área | Conexión con la red nacional | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total |
|--------------|------------------------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Orito | Si | 15,8 | 15,8 | 9 | 9 | 9 | 58,6 |
| Sur | Si, parcial ⁵¹ | 5,4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 25,4 |
| Nororiente | No | 3,74 | 6 | 6 | 6 | 6 | 27,74 |
| Occidente | No | 3,41 | 4 | 4 | 4 | 4 | 19,41 |
| Total | | 28,35 | 30,8 | 24 | 24 | 24 | 131,15 |

Fuente: Información recopilada en las encuestas

En cuanto al sector transporte, durante el proceso de recolección de información, la consultoría tuvo conocimiento de los planes de expansión ya decididos y en proceso de implementación de uno de los establecimientos de mayor participación en el transporte de crudos del país, que planea sustituir el accionamiento de sus bombas, pasando de los accionadores de motores reciprocantes a motores eléctricos, lo que evidentemente le haría requerir mayor autogeneración en sus

⁵⁰ La totalidad de los campos indicados en la Tabla 67 tienen conexión a la red nacional.

⁵¹ Algunos pozos en esta ubicación cuentan con conexión a la red.

estaciones. La potencia de los motores reciprocantes se estima en 51.600 HP de fuerza motriz de bombeo.

En refinación, las dos plantas consultadas, con sus diferentes expansiones y obras en curso, especialmente la facilidad ubicada en el departamento de Bolívar, tiene planeada la entrada en línea de 112,8 MW en el año 2015. En cuanto a la refinería restante, por información directa de la misma y con ocasión de la encuesta aplicada, el actor manifestó que existe una proyección de incrementar la potencia en 35 MW (Ciclo Combinado) y 24 MW (Cogeneración con vapor). Aunque en la información entregada por este último establecimiento, indica que existirá una capacidad de excedentes, también es cierto su manifestación verbal de lograr el autoabastecimiento pero sin considerar la venta de excedentes como un propósito estratégico o de su principal interés.

Tabla 69: Proyectos futuros de energía indicados por las refinerías en entre 2015 y 2016 [MW]

| Equipo tipo | Refinería de Santander 2015 | Refinería de Bolívar 2016 |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| Prime Power - Gas | - | 112,8 |
| Adicional - Ciclo Combinado | 35,0 | 80,0 |
| Prime Power - Vapor | 24,0 | - |
| Respaldo - Diésel | - | 14,0 |
| Adicional a ser comprada a la red | - | 11,1 |
| Capacidad futura de generación de excedentes | 40,0 | - |

Fuente: información recopilada en las encuestas

Con todas las cifras anteriormente consignadas, la proyección de capacidades de autogeneración se consigna en la Tabla 70. La capacidad mencionada para el 2018 mantiene cierto grado de incertidumbre toda vez que el proyecto se encuentra en la etapa de planeación.

Tabla 70: Proyección de autogeneración anual - Sector petróleo [MW]

| Área de la cadena | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Producción | 63,6 | 66,0 | 24 | 724 | 24 |
| Transporte | - | 38,4 | - | - | - |
| Refinación | - | 35,0 | - | - | - |

| Área de la cadena | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------|-------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| Total | 63,6 | 139,4 | 24 | 724 | 24 |

Fuente: información recopilada en las encuestas

En cuanto a la proyección de cogeneración se refiere, la información se presenta en la Tabla 71.

Tabla 71: Proyección de cogeneración anual - Sector petróleo [MW]

| Área de la Cadena | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2018 | 2019 |
|-------------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Producción | - | - | - | - | - | - |
| Transporte | - | - | - | - | - | - |
| Refinación | 112,8 | 59 | - | - | - | - |
| Total | 112,8 | 59 | - | - | - | - |

Fuente: información recopilada en las encuestas

Las celdas sin registros de las tablas anteriores dan por sentado la incertidumbre por la cual está atravesando este sector en la actualidad.

A continuación se presenta la consolidación de resultados de la autogeneración y cogeneración identificada para los años 2015 a 2019. Se observa un valor muy significativo en el año 2018 por cuenta de la planta prevista en Casanare (700 MW).

Tabla 72: Consolidación de resultados - Sector petróleo [MW]

| Capacidad | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|--------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| Autogeneración | 63,6 | 139,4 | 24 | 724 | 24 |
| Cogeneración | 112,8 | 59 | - | - | - |
| Total | 176,4 | 198,4 | 24 | 724 | 24 |

Fuente: información recopilada en las encuestas

7.3 SECTOR DE COMERCIO Y PÚBLICO

Dado los resultados obtenidos de ausencia de autogeneración y cogeneración en el sector de comercio y público el consultor no ha considerado prudente aventurarse a efectuar proyecciones sobre implementación de proyectos.

Se cree que en la medida que la ley 1715 /2014 y su reglamentación quede plenamente en vigor y a partir de algunas experiencias sobre energías renovables

no convencionales se podrían tener elementos más precisos para poder hacer una proyección.

7.4 PROYECCIÓN POR SECTORES

Una vez identificadas las cifras anuales de capacidades de autogeneración y cogeneración para los sectores se presenta las tablas con la consolidación de cifras del sector industrial y petróleo para el periodo 2015 a 2019.

Tabla 73: Proyección del autogeneración y cogeneración en el sector industrial [MW]

| Capacidad | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Autogeneración | 67,2 | 72,1 | 77,3 | 82,9 | 88,9 |
| Cogeneración | 45,6 | 47,1 | 48,7 | 50,6 | 52,6 |
| Total | 112,9 | 119,2 | 126,0 | 133,4 | 141,5 |

Fuente: Elaboración de la consultoría

Dada la naturaleza de las cifras en cada sector, vale la pena reportar la proyección del sector petróleo de manera acumulativa.

Tabla 74: Proyección del autogeneración y cogeneración en el sector petróleo [MW]

| Capacidad | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Autogeneración | 63,6 | 203,0 | 227,0 | 951,0 | 975,0 |
| Cogeneración | 112,8 | 171,8 | 171,8 | 171,8 | 171,8 |
| Total | 176,4 | 374,8 | 398,8 | 1.122,8 | 1.146,8 |

Fuente: Encuestas y elaboración de la consultoría

CAPÍTULO 8

8 METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Uno de los objetivos específicos establecidos por la UPME como parte del alcance de este estudio, tiene que ver con “Desarrollar una metodología que permita, de forma periódica, actualizar la información recopilada sobre la capacidad instalada y potenciales de crecimiento, en procesos de autogeneración y cogeneración para los sectores de petróleo, industria, comercio y público del país”. En consecuencia, este capítulo está dedicado a desarrollar este tema, para lo cual se toman en consideración los siguientes puntos de partida, a partir de las experiencias obtenidas en la ejecución de este estudio:

- La poca disponibilidad de información consolidada y fiable de información de los agentes. Esto es, *bases de datos* con informaciones de orden técnico
- Las limitaciones de Información disponible sobre los agentes y/o establecimientos que se constituyen en los elementos claves para el suministro de la información.
- La poca cultura de compartir y entregar información por parte de los agentes a entidades del estado que los requieren.
- Las barreras de orden legal que restringen o dificultan el acceso a la información.

8.1 INFORMACIÓN DE PARTIDA

Como parte de los entregables de este estudio se ha consolidado una base de datos con los diferentes agentes a nivel de establecimiento con registro como usuario no regulado en la base de datos de XM. Esta base de datos constituye la muestra que siguiendo los criterios del análisis estadístico del universo presentado en estudio, permite obtener la información suficiente para poder efectuar las expansiones al Universo con parámetros de confiabilidad razonables aceptadas normalmente en la industria.

Esta información podría permanecer sin cambio, a menos que se presenten los siguientes casos:

- Se presenten o se detecten cambios significativos en el tamaño de los sectores de interés (Industria, Petróleos, etc.). Estos cambios pueden

detectarse mediante seguimiento al PIB u otros indicadores propios de cada sector.

- Se identifiquen cambios muy drásticos en la demanda de energía eléctrica vs el crecimiento del PIB de los sectores o se detecten sectores productivos con crecimientos muy grandes (este crecimiento se debe verificar según el contexto del sector, la consultoría propone utilizar el criterio de experto para definir estos cambios debido a la versatilidad de cada uno).
- Se realice un ajuste en la estratificación que se planteó en este estudio. Recordemos que se obtuvieron muestras estratificadas utilizando un doble criterio (ej. tamaño medio de planta e intensidad de uso energético en el sector industrial; tamaño medio de planta y piso térmico en edificaciones comerciales y públicas) para cada uno de los sectores.
- Se cuente con una nueva base de datos o varias bases de datos que amerite un ajuste al universo y a la muestra (Ver la discusión presentada en la sección 3.1).
- Se quiera estimar un inventario para autogeneración y cogeneración en un intervalo de tiempo mayor a un año

8.2 AJUSTE AL UNIVERSO

El universo propuesto para el estudio es fácil de ajustar, debido a que se construye a partir de los reportes de compra de energía por parte de los agentes no regulados. Esta característica permite que la base se pueda cruzar con la información disponible en la Superintendencia de sociedades para enriquecerla con la información financiera (se requiere una previa normalización de cada registro para los posibles cruces, este proceso puede tomar mayor tiempo debido a la estructura de la información). Igualmente, la base puede ser enriquecida con las disponibles en la Superintendencia de Servicios Públicos en materia de ventas de energía. Este cruce produciría los siguientes cambios importantes

Se tiene entonces que desde el punto de vista técnico, el universo de agentes o establecimientos se puede actualizar y mejorar a un costo relativamente bajo pero también contando con la desventaja de requerir considerable tiempo en la gestión de consecución y ajuste de estas fuentes. Dicho ajuste tiene un efecto marcado en

las estimaciones, por lo cual es importante evaluar la pertinencia de realizar este ajuste.

Así las cosas, una primera consideración a tener en cuenta en la actualización del universo es prever el tiempo que toma gestionar ante las entidades pertinentes el suministro de los reportes y el alcance que se quiera dar al cruzar esta información.

8.3 AJUSTE A LA MUESTRA

La muestra diseñada para este estudio obedece en primera instancia a obtener información de aquellos elementos que muestran la factibilidad económica para ser autogeneradores o cogeneradores y donde se prevé un potencial importante y real. En este sentido, la muestra se rige por el principio de Pareto haciendo énfasis de mayor tamaño de muestra en los estratos más “favorables” (ej. tamaño de planta alto y uso altamente intensivo en el sector industria; tamaño de planta alto y piso térmico alto, etc.). Cualquiera que sea la razón que dirija a la necesidad de intervenir la muestra ya establecida, requiere de un análisis detallado y específico que atienda justamente a los objetivos que se persiguen.

La consultoría recomienda para un nuevo estudio con los mismos objetivos, tener en cuenta las siguientes consideraciones respecto a la muestra

- Los criterios adoptados mantienen en común una metodología de análisis que permite continuar en la profundización del conocimiento de grupos específicos; ya sea desde el enriquecimiento en la precisión de las estimaciones al incrementar los tamaños de muestra o introduciendo nuevos elementos de investigación a través de los formularios específicos de cada sector.
- La Consultoría no recomienda ajustar el marco muestral del presente estudio a menos que, consideraciones de orden técnico o normativo presuman cambios influyentes en las estimaciones realizadas para el inventario de autogeneración y cogeneración (Ver 8.1). La muestra puede ser actualizada con facilidad al definir el periodo pertinente para realizar conocer los estimados estadísticos de los inventarios en autogeneración y cogeneración. La consultoría sugiere realizar esta estimación en periodos anuales debido a dos aspectos importantes. El primero es la dificultad para obtener la información requerida

por los establecimientos. Y el segundo es el tiempo que toma realizar proyectos de cogeneración o autogeneración, el cual es usualmente de un año o más.

- Constituyen especial atención para el estudio los puntos de observación donde se presume viable y existente la autogeneración o la cogeneración. En este sentido, los análisis previos muestran que los criterios de clasificación de los establecimientos utilizados por la Consultoría muestran un gradiente de factibilidad en la existencia de la autogeneración o la cogeneración que es más notoria en grupos con altos consumos y alta intensidad energética (por analogía piso térmico cálido) y que va decreciendo en la medida que los tamaños de planta equivalente se reducen e igualmente el comportamiento de la intensidad energética (y por simetría cuando se observa en relación al piso térmico). Así las cosas, la Consultoría recomienda, para efectos de un mejor aprovechamiento de los recursos en una investigación de esta naturaleza mantener el criterio de Pareto en la selección de la muestra dándole una mayor participación a los estratos donde la autogeneración y cogeneración son técnica y económicamente factibles (como lo muestran los resultados) en detrimento de pequeña ponderación en los estratos donde la autogeneración, cogeneración e intensidad de uso energético son poco factibles en términos técnicos, económicos y poco probable de implementar.
- El doble criterio de estratificación en estos universos de establecimientos le permite a la UPME focalizar objetivos específicos de estudio e independientemente diseñar muestras específicas.

8.4 PROCESO DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN

Para este caso específico y dado que se parte una muestra con la información completa de identificación de los agentes, y lo que es más importante, con la identificación de la persona clave dentro de la organización que maneja el tema de interés, se puede proceder a lanzar una campaña de actualización de la información mediante el aplicativo entregado como parte de los productos de este estudio, dando un plazo prudencial para su diligenciamiento.

Se recomienda hacer un seguimiento vía telefónica o vía mail a la persona encargada del agente encuestado en caso de demoras en su diligenciamiento.

Ahora bien, teniendo en cuenta las dificultades en la recolección de información, es un hecho que se requiere establecer la obligatoriedad del suministro. Esta consultoría sugiere la expedición de un acto por parte del Ministerio de Minas y Energía o por cualquier ente gubernamental que permita que lo aquí expuesto se materialice de manera efectiva.

8.5 CRÍTICA DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

Una vez se cuenta con la información de parte de los agentes encuestados se debe proceder a efectuar una revisión de la misma para detectar inconsistencias. En caso de detectarse alguna se recomienda efectuar un contacto directo para su validación directamente con el emisor. Si esto no es posible, el experto temático podrá efectuar la validación o recomendar desechar el dato que requiere validación. Este proceso de validación sugiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Comparar los precios calculados de los combustibles reportados con precios de referencia (Los precios de referencia deben ser obtenidos para el año en el que se realiza la encuesta).
- Verificar que la potencia instalada en plantas de emergencia no sea mayor al 70% del tamaño de planta equivalente del establecimiento. Este es un indicio de que se registraron plantas de respaldo en el ítem de plantas de emergencia.
- A pesar de que el aplicativo permite unificar las unidades para el manejo de información, es recomendable realizar comparaciones de los datos numéricos recopilados con el promedio estadístico para detectar posibles datos errados.

8.6 ANALISIS ESTADISTICO

Una vez consolidada la muestra se debe efectuar el análisis estadístico y proceder con los cálculos para el universo que se esté estudiando y sobre las variables de análisis. El análisis estadístico puede ser de dos maneras:

Cualitativo: Permite observar el comportamiento de la muestra frente a una característica cualitativa, no está sujeto a expansión estadística. Por ejemplo, la tecnología empleada para realizar procesos de cogeneración.

Cuantitativo: Permite observar el comportamiento del universo utilizando como punto de partida la muestra estadística. Este tipo de análisis se describe con detalle en la sección 5.1. Es importante resaltar que debido a que el criterio de estratificación está focalizado en estimar las capacidades instaladas de cogeneración y autogeneración, una eventual expansión estadística de otros valores no relacionados puede no ser apropiada. Por ejemplo, el consumo de biomasa (Recordemos que la estratificación propuesta está diseñada para disminuir las variancias en cuando al tamaño de planta equivalente y no en cuanto al consumo de biomasa).

CAPITULO 9

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones del estudio y se formulan algunas recomendaciones para el trabajo futuro de la UPME en relación con la autogeneración y la cogeneración en las áreas interconectadas de Colombia.

9.1 CONCLUSIONES GENERALES

- El presente estudio pone a disposición de la UPME, y de otras entidades y personas interesadas, resultados confiables sobre el inventario actual (finales de 2014) de la capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en las áreas interconectadas del país, para los sectores petróleo, industrial manufacturero, comercial y público. Estos resultados complementan los esfuerzos que ha venido adelantando la Unidad para: (i) profundizar en el conocimiento de la demanda de energía en Colombia, (ii) enriquecer la base informativa para los propósitos de planeamiento del sector, y (iii) realizar la futura actualización de este inventario, así como para para realizar balances energéticos más precisos.
- Los resultados obtenidos para el inventario son los siguientes:

Inventario de capacidades a diciembre de 2014

| Sector | Autogeneración [MW] | Cogeneración [MW] | Emergencia [MW] | Total [MW] |
|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Industria | 234,0 | 596,7 | 136,4 | 967,1 |
| Petróleo | 955,0 | 151,0 | 4,3 | 1110,3 |
| Comercial/Público | 4,1 | 0,0 | 65,0 | 69,1 |
| TOTAL | 1.193,1 | 947,7 | 205,7 | 2.146,5 |

- El estudio también estima el potencial de autogeneración y cogeneración actual y para los próximos 5 años (2015 a 2019) a partir de dos tipos de información: (i) los planes y programas que algunas empresas y gremios informaron a los consultores en las entrevistas realizadas (p.e., los sectores azucarero, petróleo y palmicultor), y (ii) una estimación econométrica para el sector industrial basada en las expectativas de crecimiento de la producción y de la evolución de los precios de la electricidad en el SIN y de los costos de autogenerar y

cogenerar con diferentes combustibles (principalmente gas, carbón y biomasa residual).

- Los resultados obtenidos para el potencial son los siguientes:

Potencial proyectado para el sector industrial (no incluye sector azucarero)

| | Capacidad en MW | | | | |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Autogeneración | 67,2 | 72,1 | 77,3 | 82,9 | 88,9 |
| Cogeneración | 29,0 | 31,2 | 33,5 | 36,0 | 38,7 |

Proyectos de autogeneración y cogeneración en los sectores petróleo, azucarero y palmicultor.

| | Capacidad en MW | | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Sector de Petróleo | | | | | |
| Autogeneración | 63,6 | 139,4 | 24,0 | 724,0 | 24,0 |
| Cogeneración | 112,8 | 59,0 | - | - | - |
| Total | 176,4 | 198,4 | 24,0 | 724,0 | 24,0 |
| Sector Azucarero | | | | | |
| Cogeneración | 260,0 | 290,0 | 360,0 | | |
| Sector Palmicultor | | | | | |
| Cogeneración | 246,6 | 258,9 | 271,3 | 283,6 | 295,9 |
| TOTAL | 506,6 | 548,9 | 631,3 | 283,6 | 295,9 |

- La capacidad no despreciable de respaldo identificada en los sectores petróleo industria, comercio y público de 254,3 MW, cuyos costos de generación son superiores a las tarifas de la red pública en condiciones normales, podrían operar de manera continua y aportar del orden de 6 GWh/día en condiciones críticas del SIN (p. e., en períodos de sequías prolongadas cuando los costos del SIN sean significativamente superiores a los de dichas plantas). A este respecto, la CREG desarrolló el concepto de “Demanda Desconectable Voluntaria” como uno de los anillos de seguridad de la confiabilidad del sistema de generación, pero por desconocimiento (o falta de interés) de los

comercializadores de energía y de los operadores petroleros, no ha tenido ningún desarrollo. De todas formas conviene indicar que la UPME y CREG continúan trabajando en estudiar con mayor profundidad esta alternativa para el sector.

- Desde el punto de vista metodológico se destaca la aplicación estricta de los siguientes conceptos técnicos: (i) capacidad de autogeneración, caracterizada por atender una parte (o toda) la demanda de manera permanente con equipos robustos (como pequeñas centrales hidroeléctricas, plantas térmicas con caldera y turbina de vapor alimentadas con carbón, biomasa o residuos orgánicos, con costos de oportunidad bajos o nulos, o con subproductos indeseables de procesos petroquímicos (como el coque de petróleo), cuyos costos variables de generación resultan inferiores a las tarifas del SIN, (ii) capacidad de emergencia, caracterizada por cubrir parte de la demanda del consumidor con equipos poco robustos de pocas horas de operación y de costos variables superiores a las tarifas del SIN, y (iii) capacidad de respaldo, caracterizada por la habilidad de poder cubrir porciones significativas (o el total) de la demanda del consumidor, con equipos robustos que pueden operar por periodos prolongados, pero que sus costos variables superan las tarifas del SIN.
- La metodología empleada para levantar el inventario actual se basa en un análisis estadístico riguroso (que incluye la investigación del universo de establecimientos de cada sector, el diseño del muestreo con formularios específicos, y la crítica a la información recolectada) que garantiza el mejor aprovechamiento de la información obtenida proveniente de diferentes fuentes como son: (i) encuestas y entrevistas a los establecimientos, (ii) experiencias internacionales, (iii) trabajos recientes de la UPME, (iv) información de agremiaciones de algunos sectores consumidores, (v) autoridades energéticas y ambientales, (vi) registros del operador del mercado mayorista de energía eléctrica, (vii) el DANE, (viii) proveedores de equipos de autogeneración y cogeneración, y (ix) algunas empresas dedicadas a la investigación de mercados.
- Para la estimación del potencial actual, la metodología del tipo técnico-económico, reconoce las características técnicas y económicas de los consumos y las tarifas de electricidad del SIN. Y para la estimación del

potencial proyectado la metodología hace uso de un modelo econométrico de amplio uso en los análisis de la demanda energética.

- La capacidad total de autogeneración y cogeneración encontrada en los sectores estudiados representa el 13% de la capacidad total del SIN (se consideró la capacidad efectiva de generación del SIN reportada por la UPME a diciembre 31 de 2013 que corresponde a 14.585 MW). Esta cifra es significativa, máxime si se tiene en cuenta que el estudio no cubrió sectores consumidores importantes como la minería del carbón y la producción y distribución de agua potable, que se sabe que poseen capacidades de autogeneración no despreciables.
- Las cifras de autogeneración muestran la gran participación del sector petróleo (con el 80%) seguido de la industria manufacturera (con casi el 20% restante). Para la cogeneración las cifras son inversas ya que el sector industrial tiene la mayor participación con el 86% y el sector petróleo posee el 14% restante.
- La participación del sector comercial y público en la autogeneración resultó ser nula, como era de esperarse. Sin embargo, y con sorpresa, se encuentran capacidades de respaldo importantes en algunos grandes centros comerciales.
- De la información obtenida se infiere una pobre participación de las energías renovables no convencionales en la autogeneración de los sectores estudiados, las cuales alcanzan solo algo más de 9 MW. Sin embargo, esta cifra debe tomarse con reserva ya que el muestro no estuvo diseñado para estimar este tipo de energías, con lo cual la cifra real podría ser superior.
- Las tecnologías y tamaños de planta encontrados en los diferentes establecimientos constituyen un insumo de interés para las definiciones que se deben hacer sobre aspectos regulatorios pendientes de la Ley 1715 de 2014.
- Solo se identificaron excedentes en los procesos de cogeneración del sector industrial con 77,3 MW (cifra a diciembre de 2014). El sector petróleo (que posee autogeneración y cogeneración) declaró no haber vendido excedentes y no estar interesado en hacerlo en el futuro. Y los sectores de comercio y público no reportaron poseer capacidad de autogeneración ni de cogeneración.

9.2 CONCLUSIONES PARA EL SECTOR DE INDUSTRIA

- La capacidad de autogeneración instalada a diciembre de 2014 obtenida, de 234 MW, se da principalmente en las industrias de intensidad energética alta

(99%), con consumos promedios de energía eléctrica mayores al equivalente de 3,3 MW y rango de variación desde 1 MW a 12,9 MW. Bolívar, Antioquia, Valle del Cauca y Cundinamarca dan cuenta del 71% de la capacidad instalada de autogeneración. Las fuentes energéticas primarias utilizadas son el gas natural (56%), la energía hidráulica (29%) y el carbón. La tecnologías utilizadas son motores de combustión interna (49%, PCH (29%), turbinas de gas (12%) y cadera y turbina de vapor (10%). Los tamaños encontrados en la muestra de los equipos de autogeneración son: mayor a 20 MW en 2 unidades (11%), de 10 a 20 MW en 4 unidades (21%), de 5 a 10 MW en 6 unidades (32%), menores de 5 MW en 7 unidades (37%).

- La capacidad de cogeneración a diciembre de 2014 resultante de 596,7 MW se encuentra principalmente en Valle del Cauca (55%), Bolívar (9%), Cauca (9%), Atlántico (7%), Antioquia (6%). las fuentes energéticas utilizadas son el gas natural (40%), la biomasa residual (38%) y el carbón (18%). La caldera con turbina de vapor representa el 60% de la tecnología utilizada, seguida de turbinas de gas (30%) y los motores de combustión interna (10%). Los tamaños obtenidos en la muestra son: mayores a 20 MW en 9 unidades (24%), de 10 a 20 MW en 10 unidades (24%), de 5 a 10 MW en 6 unidades (16%) y menores de 5 MW en 13 unidades (35%).
- Como razones principales de la instalación de autogeneración, los industriales encuestados mencionaron las siguientes: el mejoramiento de la confiabilidad (continuidad) y de la calidad del suministro, y en menor medida, las altas tarifas de la red. Para el caso de la cogeneración, las motivaciones fueron en su orden las siguientes: la calidad, la eficiencia (económica y energética) y la viabilidad de la venta de excedentes a la red.
- La evolución futura del potencial de autogeneración y de cogeneración en cada una de las ramas de la industria (sin incluir los ingenios azucareros) dependerá del crecimiento de su producción, de la evolución de las tarifas de la red pública y de los costos de autogenerar o cogenerar. La incertidumbre sobre la disponibilidad de gas natural y la expectativa de crecimiento de los precios de este combustible tienen un efecto negativo sobre el aprovechamiento del potencial de cogeneración en el futuro. Por el contrario, la percepción de reservas de carbón suficientes y de una disminución relativa de los precios del carbón llevan a que el potencial de cogeneración se incremente.

- En el pasado el gas natural jugó un papel importante en el desarrollo de plantas de auto y cogeneración en el sector industrial en razón de los bajos costos que prevalecieron por más de una década. Sin embargo, hacia el futuro inmediato, el gas natural no es visto por los empresarios como una opción económicamente atractiva debido a la incertidumbre tanto en la disponibilidad de suministro en firme (no se han incorporado reservas importantes en los últimos años que viabilicen la contratación de largo plazo), como en los precios.
- Como cualquier proyección, el potencial de autogeneración y cogeneración esperado para los próximos 5 años posee algún grado de incertidumbre pues depende de variables inciertas como el crecimiento de la economía y de la producción industrial, la evolución de los precios de la electricidad en el SIN y la evolución de los costos de la autogeneración y cogeneración (incluyendo los combustibles).
- Evidentemente el desarrollo de la reglamentación de la Ley 1715 de 2014 y de la regulación incidirá en el desarrollo de la cogeneración. El análisis crítico del REE realizado en este estudio indica que de la manera como está hoy reglamentado introduce restricciones para el aprovechamiento del potencial identificado.
- Para que la autogeneración de un industrial se vuelva competitiva, es necesario que instale capacidades significativamente superiores a su demanda, de tal manera que pueda capturar las economías de escala y el costo de su generación se ubique por debajo de la tarifa de energía de la red. Para una compra actual dada de energía, cuanto más alto sea el precio que esté pagando al SIN, menor será la capacidad con excedentes que tendrá que instalar en una planta de autogeneración para que el costo de generación sea inferior a dicha tarifa. Sin embargo, para que un empresario decida instalar una capacidad superior a su demanda, tendría que percibir una gran certidumbre en los ingresos que obtendría por la venta de sus excedentes.
- El 68% de los establecimientos encuestados en autogeneración en el sector industrial presentaron potencias menores a 10 MW. Para el caso de la cogeneración, el 51% de los establecimientos encuestados presentaron potencias menores a 10 MW. Estos indicadores muestran el tamaño relativamente pequeño de la industria colombiana consumidora de energía.

- La tecnología predominante en los sistemas de autogeneración del sector industrial son los motores de combustión interna, empleando en su mayoría el gas natural como energético primario. En los sistemas de cogeneración predominan las turbinas de vapor y caldera (ciclos Rankine), empleando en su mayoría biomasa y carbón como energéticos primarios.

9.3 CONCLUSIONES PARA EL SECTOR PETRÓLEO

- Las características y los usos particulares de la energía eléctrica y calórica de los distintos eslabones de la cadena del petróleo determinan las posibilidades de autogeneración y cogeneración en esta industria. En efecto, en la exploración, producción, transporte por tubería (de crudo y productos derivados), y en el almacenamiento y distribución (mayorista y minorista), el uso de la energía es principalmente para fuerza eléctrica motriz e iluminación⁵², mientras que la refinación es una actividad intensiva tanto en uso de calor, como de fuerza motriz. En consecuencia, solo en la refinación aparecen posibilidades de autogeneración y cogeneración, en tanto que en los demás eslabones solo existen posibilidades de autogeneración.
- La exploración de petróleo y gas utiliza electricidad de manera importante y prácticamente toda es autogenerada con motores de combustión interna portátiles por las siguientes razones: i) con frecuencia la exploración se localiza en zonas no interconectadas, ii) dado que *a priori* no hay certeza en la existencia de hidrocarburos, en caso de realizarse la exploración en zonas interconectadas, no se justifica la construcción de redes. De otra parte, la dinámica exploratoria es función de diversas variables, una de las cuales es el movimiento del precio internacional del crudo. Por estas razones las cifras de capacidad en la etapa de exploración no fue objeto de este estudio.
- Para el eslabón de la producción es importante contar con fuentes de energía confiables, por lo que en buena parte de los campos se utiliza el propio gas como energético primario (bien sea en yacimientos de gas libre o asociado) para mover generadores de potencia, principalmente motores de combustión interna y turbinas de gas con costos bajos. En estos casos el suministro de la

⁵² Una excepción es el uso de energía calórica para mejorar las condiciones del fluido mediante calentamiento.

red pública (donde existe) se tiene como suministro alternativo (o a veces se utiliza una combinación de los dos suministros). Por el contrario, en los casos en que el campo no produce gas pero se encuentra en una zona interconectada, el operador se conecta al SIN como fuente principal de suministro, pero instala suficiente capacidad de respaldo generalmente movida con plantas diésel, para cubrir toda su demanda. La producción de hidrocarburos en Colombia recibió un impulso significativo con la reforma de 2003 lo cual explica el crecimiento importante de la autogeneración en este eslabón de la cadena.

- En todos los casos examinados el operador petrolero no mostró interés en entregar excedentes al SIN. Sin embargo, aunque aquéllos operadores que poseen (o poseerán) excedentes de bajo costo están interesados en poder utilizar la red pública para moverlos a otros puntos propios de consumo distantes pero interconectados.
- La actividad de la refinación también requiere fuentes confiables de energía, y dado que requiere calor para algunos de sus procesos, como se mencionó, es el único eslabón de la cadena que autogenera (con TG) y cogenera (con TV). En adición, actualmente es típico que compre una parte al SIN de la electricidad requerida.
- En cuanto al transporte de hidrocarburos convencionales y derivados, se encontró que el esquema típico es el de comprar al SIN la totalidad de la energía consumida por las bombas y que consecuentemente se usen motores eléctricos para su accionamiento, con excepción del Oleoducto Central, que tiene varias bombas accionadas con MCI, que usan crudo como energético primario al igual que bombas accionadas eléctricamente, para las que existen plantas de autogeneración, en estaciones propias, o bien centralizada en Cusiana y compartida con otras facilidades. La empresa propietaria posee planes para incrementar en un futuro (de 1 a 3 años) la autogeneración y eliminar los MCI.
- El negocio del transporte de gas usa gas combustible para el accionamiento de los compresores, más no para autogeneración. Las estaciones generalmente están conectadas a la red pública y poseen plantas de emergencia.
- Es de anotar que el desarrollo del presente estudio coincidió con el inicio de la caída de los precios en el mercado internacional (pasando el WTI de valores por encima de 100 US\$/b a finales de agosto de 2014, a valores por debajo de

55 US\$/b al final del año), lo que ha generado una fuerte reducción y control en las inversiones y gastos de las empresas que se podría traducir en que algunos proyectos no se realicen o al menos se aplacen.

9.4 CONCLUSIONES PARA LOS SECTORES COMERCIAL Y PÚBLICO

- En los establecimientos comerciales, entidades públicas, hoteles y hospitales no se identificaron capacidades instaladas en cogeneración y autogeneración. Las causas mencionadas por los encuestados son las siguientes: (i) altos períodos de retorno de la inversión, (ii) en las entidades públicas, dificultades para la asignación presupuestal de la inversión en éste tipo de proyectos, (iii) barreras en comercializadores y operadores de red obtener el contrato de energía de respaldo y (iv) diseños inadecuados en edificaciones existentes que impiden el aprovechamiento de energías renovables (especialmente la solar)
- Se informaron algunos proyectos puntuales en estudio y otros en instalación como proyectos de carácter piloto.
- A pesar de que los establecimientos del sector hotelero y hospitalario tienen un interesante componente térmico en el consumo de energía, solamente se identificó un proyecto de cogeneración en un Hotel en un esquema de financiación por terceros. De otra parte, en dos establecimientos con grandes superficies se detectaron proyectos en etapa de instalación para la producción energía eléctrica fotovoltaica.
- En las regiones de piso térmico cálido el consumo de energía eléctrica del sector comercial participa con el 50% del total nacional. Esto explica el hecho de que la capacidad instalada en plantas de emergencia en el sector comercial ubicado en zonas calidas posea la mayor participación de los 56MW identificados.
- En el sector público el consumo de energía eléctrica en las regiones de piso térmico cálido del sector público, corresponden con el 80% en promedio del total nacional. En este sector la capacidad instalada en plantas de emergencia es de aproximadamente 9MW y se dispone adicionalmente de total 16,1MW instalados en plantas de respaldo.
- El consumo de energía eléctrica en hospitales y hoteles para el año 2013 en las regiones de piso térmico cálido del sector comercial, corresponden con el 80% en promedio del total nacional.

- La percepción en relación con la importancia y oportunidad en general para el sector comercial, público, y hospitales y hoteles, sobre el potencial para el aprovechamiento de la energía renovable es media, con un 34% moderada con mayor énfasis en energía solar fotovoltaica FV y solar térmica.
- La capacidad instalada en energías renovables es mínima. Solamente se reportan algunos proyectos de energía solar fotovoltaica en grandes superficies y un proyecto de cogeneración en un hotel. Sin embargo, existe interés en proyectos de energía solar fotovoltaica en grandes superficies y hoteles, como también en proyectos de cogeneración en hospitales y hoteles.
- En los sectores comercial, público, hoteles y hospitales, los resultados de las encuestas muestran muy bajo conocimiento de fuentes renovables de energía (sus tecnologías, costos e incentivos legales) y de la estructuración de proyectos de autogeneración, lo cual genera incertidumbre en su aprovechamiento.
- A pesar de la baja disponibilidad de los techos para instalaciones nuevas (las construcciones fueron diseñadas para alojar instalaciones hidráulicas con almacenamientos, evacuación de olores y gases), hay potencial para aplicaciones en energía solar fotovoltaica.

9.5 RECOMENDACIONES

- Para profundizar el desarrollo de la autogeneración, cogeneración y usos de fuentes renovables conviene: (i) profundizar en el conocimiento de las barreras que impiden su penetración para poderlas eliminar, (ii) expedir una reglamentación de la ley 1715 que facilite su desarrollo, (iii) para la venta de excedentes a la red, expedir una regulación lo más sencilla posible, (iv) difundir las medidas de promoción que se adopten.
- Para reducir las dificultades de obtener información primaria sobre temas de energía en las empresas (especialmente del sector industrial), conviene articular todas las acciones de las autoridades energéticas para minimizar el número de solicitudes que se realizan (las diferentes encuestas y solicitudes de datos con frecuencia contienen preguntas comunes que indisponen al encuestado). Por otra parte, convendría estudiar la posibilidad de que el suministro de información energética sea obligatorio.

BIBLIOGRAFÍA.

- AENE-UPME. (1996). *ESTUDIO SOBRE EL "DESARROLLO DEL POTENCIAL DE COGENERACION EN EL PAIS"*. BOGOTÁ: UPME.
- ANDI. (2014). *Inventario de la capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en la industria colombiana*. Bogotá: ANDI.
- BLARKE., M. B. (2011). Smart Intermittency-Friendly Cogeneration: Techno-Economic Performance Of Innovative Double Storage Concept For Integrating Compression Heat Pumps In Distributed Cogeneration. *6th International Renewable Energy Technology*. Berlin: Dept. of Energy Technology, Aalborg University, Denmark.
- CASHMAN EQUIPMENT. (2014). *Generator Set Ratings*. Retrieved Diciembre 2014, from Designer´s Database:
<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/Uploaded/cms/generator-set-ratings.pdf>
- CASTILLO, G., & FIGUEROA, H. (n.d.). *Eficiencia Energética para el Mundo Moderno*. Retrieved Diciembre 2014, from Clasificación de los Sistema de Cogeneración: <https://sites.google.com/site/gdelcastillo/tipos>
- CIRCE. (2001). *Análisis del potencial de ahorro y eficiencia energética de Aragón*. Zaragoza: Litocian.
- CONUEE/ CRE/ GTZ. (2009). *Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México*. México.
- CORPOEMA-UPME. (2013). *Determinación del Potencial de Reducción del Consumo Energético en el Sector Servicios*. Bogotá: UPME.
- CORPORACIÓN EMA. (2012). *Determinación de inversiones y gastos de administración, operación y mantenimiento para la actividad de generación en zonas no interconectada utilizando recursos renovables*. Bogotá DC.
- CREG. (2010). *RESOLUCIÓN No.005 Por la cual se determinan los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración y se regula esta actividad*. Bogota D.C.: CREG.
- CREG, C. d. (1996, Octubre 25). *CREG, Comisión de Regulación Energía y Gas*. Retrieved 12 2014, from Resolución 084 de 1996:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1996-CRG84-96>
- DAES. (2009). *División de estadística - Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas (CIIU). Revisión 4*. Nueva York: Naciones Unidas - Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
- DAFP. (2006). *Departamento administrativo de la función pública - Estructura del Estado Colombiano*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA.

- DANE. (2012). *Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas*. Retrieved from Revisión 4 adaptada para Colombia CIIU Rev. 4 A.C.
- DOE. (2012, Septiembre 17). *Department of Energy of United States, Energy Analysis*. Retrieved Diciembre 2014, from Energy Intensity Indicators: Terminology and Definitions: http://www1.eere.energy.gov/analysis/eii_trend_definitions.html
- ECOPETROL. (2013). *Informe de la Vicepresidencia de Transporte y Logística*. Bogotá: Ecopetrol.
- ECSIM. (2013). *Consultoría sobre la competitividad en la cadena de prestación del servicio de energía eléctrica*. Bogotá: Programa Transformación Productiva-Colombia.
- EIA. (2013). *The U.S. Energy Information Administration*. Retrieved from http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_08_02.html
- G. COCHRAN, W. (1977). *Sampling Techniques*. Jhon William & Sons.
- GARCÍA, S., & FRAILE, D. (2008). *Cogeneración Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas*. Madrid: Diaz de Santos.
- INCOMBUSTION. (2014). *Determinación del potencial de reducción del consumo energético en los subsectores manufactureros códigos CIIU 10 a 18 en Colombia*. Medellín: UPME-Colciencias.
- ISO, I. S. (2005). *ISO 8528-1 2005 Norma en Aplicaciones de Grupos Electrógenos*. Retrieved Diciembre 2014, from InfoProducts STMEU.: <http://www.stmeu.com/wp/iso-8528-1-2005-norma-en-aplicaciones-de-grupos-electrogenos/>
- Ley 1215*. (2008). Retrieved from Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31427>
- Ley 142*. (1994). Retrieved from Alcaldía Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
- Ley 143*. (1994). Retrieved from Ministerio de Minas: http://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e
- Ley 1715*. (2014). Retrieved from <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2 de diciembre de 2014). *Decreto número 2469*. Retrieved from <http://www.nuevaleislacion.com/normatividad-al-dia/item/3943-decreto-ministerio-de-minas-y-energia-2469-de-2-de-diciembre-de-2014>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Estadísticas Producción*. Bogotá DC: Dirección de Hidrocarburos .

- PEREZ, C. (2000). *Técnicas de muestreo estadístico*. Alfaomega.
- PETRSTRATEGIES. (2012). Retrieved from www.petrstrategies.org
- UPADHYAYA, S. (2011). *Derived classifications for industrial performance indicators*. Dublín: UNIDO.
- UPME. (2012). *Balance Energético 2012*. Retrieved Septiembre 21, 2014, from http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3
- UPME. (2013). *Cadena del petróleo*. Bogotá DC: Strategy Ltda.
- UPME. (2014). *Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica*.

ANEXO A-FORMULARIOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

ANEXO B HERRAMIENTA CIU REV 3- CIU REV 4

ANEXO C APLICATIVO RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

ANEXO D- ESTUDIO TECNOLÓGICO

ANEXO E- LISTADO D E ESTABLECIMIENTOS SECTORES DE INTERES

ANEXO F- ENCUESTAS RECOPIADAS EN EL ESTUDIO
