

**Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos:**

**Buses, motos, taxis, BRT.**

**Producto 3: Documento Final**

**Solicitud Pública de Ofertas No. 010 - 2019**

**Bogotá D.C., diciembre 10 de 2019.**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>20</b>
1.1	INTRODUCCIÓN A LA MOVILIDAD ELECTRICA .....	21
<b>2</b>	<b>EXPERIENCIA INTERNACIONAL</b> .....	<b>23</b>
2.1	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS CARGADORES ELÉCTRICOS</b> .....	<b>23</b>
2.1.1	Tipos de conexiones para EVs.....	23
2.1.2	Tipos de sistema de recarga .....	26
2.1.3	Configuración de recarga .....	31
2.1.4	Caracterización de la red de recarga .....	33
2.2	<b>COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE RECARGA</b> .....	<b>37</b>
2.2.1	Costo de cargador por tipo y ubicación.....	37
2.3	<b>GRADUALIDAD DE DESPLIEGUE DE ESTACIONES DE RECARGA</b> ..	<b>43</b>
2.3.1	Vehículos livianos.....	43
2.3.2	Vehículos pequeños para transporte público .....	52
2.3.3	Buses .....	53
2.3.4	Camiones de carga .....	56
2.3.5	Estaciones de carga en vías nacionales .....	57
2.3.6	Políticas para incentivar el despliegue de EVSE .....	59
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA REQUERIDA EN TRES GRANDES CIUDADES DEL PAÍS Y TRES CASOS DE USO PARA CIUDADES INTERMEDIAS POR NÚMERO DE HABITANTES (200.000, 450.000 Y 700.000), EN FUNCIÓN DE LA PENETRACIÓN ESPERADA POR TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, MODOS DE TRANSPORTE Y ÁREAS DE LAS CIUDADES.</b> ....	<b>65</b>
3.1	<b>SELECCIÓN DE CIUDADES</b> .....	<b>65</b>

<b>3.2 FACTORES QUE DETERMINA UNA RED DE CARGA PRIVADA Y PUBLICA.....</b>	<b>69</b>
<b>3.3 ANÁLISIS DE PROYECCIÓN DE CANTIDAD, TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA REQUERIDA (CARGA RÁPIDA, CARGA LENTA) TENIENDO EN CUENTA TIPO DE SERVICIO, PROPIEDAD HORIZONTAL, PARQUEADEROS PÚBLICOS, DENSIDAD POBLACIONAL, ETC., PARA MOTOS, VEHÍCULOS PARTICULARES Y SOLUCIONES DE MICROMOVILIDAD.....</b>	<b>71</b>
3.3.1 Proyecciones de penetración de vehículos eléctricos.....	71
3.3.2 Metodología para el cálculo de la cantidad de cargadores.....	76
3.3.3 Proyección de la infraestructura requerida para las ciudades de interés	79
<b>3.4 CONDICIONES DE INTEGRACIÓN DE ELECTROLINERAS EN ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EXISTENTES.</b>	<b>90</b>
<b>3.5 CANTIDAD, TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA DE ESTACIONES REQUERIDAS EN PATIOS PARA MODOS DE CARGA URBANA Y BUSES PARA TRANSPORTE URBANO.....</b>	<b>92</b>
3.5.1 Buses de transporte urbano.....	92
3.5.2 Vehículos de carga urbana .....	97
<b>3.6 METODOLOGÍA DETALLADA PARA LA SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE PUNTOS DE RECARGA CON BASE A SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA REQUERIDA) Y VARIABLES EXÓGENAS ENTRE LAS CUALES PODRÁN ESTAR: VARIABLES DEMOGRÁFICAS, ACCESO A RED ELÉCTRICA EN LAS POTENCIAS REQUERIDAS, CERCANÍA A VÍAS PRINCIPALES, ETC., CON EJEMPLO DE APLICACIÓN A UNO DE LOS CASOS DE USO O CIUDAD PRINCIPAL.....</b>	<b>99</b>
3.6.1 Determinar la ubicación potencial de los puntos de carga.....	100
3.6.2 Revisar las barreras de la instalación de los puntos de carga y evaluación financiera .....	108

<b>4 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA REQUERIDA PARA EL DESPLIEGUE DE ELECTROLINERAS EN VÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS A LO LARGO DEL PAÍS.</b>	<b>109</b>
<b>4.1 ANÁLISIS SOBRE EL POTENCIAL DE INSTALACIÓN DE ELECTROLINERAS EN CARRETERAS NACIONALES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS, INCLUYENDO CANTIDAD, TIPO DE ELECTROLINERA, TIPO DE USUARIO (PARTICULAR, CARGA, ETC.), NIVEL DE CONEXIÓN, TIPO DE CONECTOR, DISTANCIA ENTRE ELECTROLINERAS, ENTRE OTRAS.</b>	<b>109</b>
4.1.1 Cálculo De Distancia Entre Electrolineras Para Vehículos Particulares	109
4.1.2 Cantidad de electrolineras en rutas seleccionadas	111
4.1.3 Tipo de conector	113
<b>4.2 POTENCIAL INTEGRACIÓN EN ESTACIONES DE SERVICIO EXISTENTES.</b>	<b>114</b>
<b>5 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA</b>	<b>115</b>
<b>5.1 ESTRUCTURA DE COSTOS DE EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE CARGA</b>	<b>115</b>
<b>5.2 RESUMEN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA ELECTROLINERA</b>	<b>116</b>
<b>5.3 COSTOS DE REFERENCIA INTERNACIONAL DE ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA</b>	<b>119</b>
<b>5.4 CAPEX</b>	<b>120</b>
5.4.1 Costos del cargador (EVSE)	120
5.4.2 Costos de instalación de un cargador (EVSE)	122
5.4.3 Trabajos (Obra civil y eléctrica)	124
5.4.4 Equipos y materiales	127
<b>5.5 OPEX</b>	<b>128</b>

5.5.1 Alquiler del terreno .....	128
5.5.2 Suministro de energía .....	130
5.5.3 Cargos por demanda.....	132
5.5.4 Servicio de red .....	133
5.5.5 Mantenimiento y reparación.....	134
<b>5.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE CARGA PARA BUSES DE SERVICIO PÚBLICO.....</b>	<b>135</b>
5.6.1 Proyecto piloto eBus Transmilenio.....	135
5.6.2 Infraestructura eléctrica para buses eléctricos con recarga de oportunidad.....	136
5.6.3 Infraestructura eléctrica para buses eléctricos con catenaria. ....	138
<b>5.7 PREVISIÓN DE COSTOS PARA ESTACIONES DE CARGA EN COLOMBIA .....</b>	<b>139</b>
5.7.1 Caso base .....	139
5.7.2 Caso ácido .....	142
<b>6 TENDENCIAS DE DESPLIEGUE DE EVSE DE CARGA RÁPIDA.....</b>	<b>145</b>
6.1.1 Relación de EVs por punto de carga rápida.....	146
<b>7 ESTRATEGIAS PARA EL DESPLIEGUE DE ESTACIONES PÚBLICAS DE CARGA.....</b>	<b>147</b>
<b>7.1 ESTRATEGIAS GENERALES.....</b>	<b>147</b>
<b>7.2 ANÁLISIS CASOS DE ÉXITO A NIVEL INTERNACIONAL EN EL DESPLIEGUE DE ESTACIONES PÚBLICAS DE CARGA RÁPIDA.....</b>	<b>149</b>
7.2.1 China.....	150
7.2.2 Japón.....	152
7.2.3 Europa.....	152

7.2.4	Estados Unidos .....	158
7.2.5	Latinoamérica.....	159
<b>8</b>	<b>ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES DE LAS ACCIONES REQUERIDAS PARA ADOPTAR UNO O VARIOS ESTÁNDARES DE CONECTORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA .....</b>	<b>161</b>
<b>8.1</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES ESTÁNDARES DE CONECTORES</b>	<b>161</b>
<b>8.2</b>	<b>RECOMENDACIONES DE LAS ACCIONES REQUERIDAS PARA ADOPTAR UNO O MÁS ESTÁNDARES EN COLOMBIA.....</b>	<b>165</b>
<b>9</b>	<b>ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS PARA POT, POLÍTICAS PÚBLICAS, COSTOS, BARRERAS, INCENTIVOS, REGLAMENTOS TÉCNICOS, POTENCIAL DE INNOVACIÓN, ACTORES DEL MERCADO, ESQUEMAS FINANCIEROS E INTEGRACIÓN CON MINISTERIOS .....</b>	<b>168</b>
<b>9.1</b>	<b>LINEAMIENTOS PARA POTS Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE MUNICIPIOS, INCLUYENDO ASPECTOS COMO USO DE SUELO, USO PRIVADO, RECOMENDACIONES PARA CONDOMINIOS, ETC. ....</b>	<b>168</b>
9.1.1	POT como política pro-movilidad eléctrica.....	168
9.1.2	Para estaciones de recarga rápida .....	170
9.1.3	Para el uso de suelo.....	171
9.1.4	Para uso privado: comercial y copropiedad .....	173
<b>9.2</b>	<b>BARRERAS E INCENTIVOS .....</b>	<b>176</b>
9.2.1	Barreras internacionales .....	176
9.2.2	Barreras nacionales .....	180
<b>9.3</b>	<b>REGLAMENTOS TÉCNICOS REQUERIDOS Y SU ACTUALIZACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL PAÍS .....</b>	<b>185</b>
9.3.1	RETIE.....	187
9.3.2	ICONTEC .....	189
9.3.3	Reglamentos estaciones de servicio.....	189

9.3.4	Reglamentos de propiedad horizontal.....	189
9.3.5	Norma mobiliario urbano .....	189
<b>9.4</b>	<b>POTENCIAL DE INNOVACIÓN .....</b>	<b>190</b>
<b>9.5</b>	<b>TIPOS DE SERVICIO Y REQUISITOS TARIFARIOS .....</b>	<b>190</b>
<b>9.6</b>	<b>ACTORES (OPERADORES DE RED, FLOTA, MUNICIPIOS, ETC.)....</b>	<b>191</b>
<b>9.7</b>	<b>ESQUEMAS FINANCIEROS .....</b>	<b>194</b>
<b>9.8</b>	<b>INTEGRACIÓN CON MINISTERIOS .....</b>	<b>199</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>204</b>
<b>10.1</b>	<b>EXPERIENCIA INTERNACIONAL .....</b>	<b>204</b>
<b>10.2</b>	<b>PROYECCIONES DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA .....</b>	<b>204</b>
<b>10.3</b>	<b>INFRAESTRUCTURA DE CARGA EN VÍAS NACIONALES .....</b>	<b>205</b>
<b>10.4</b>	<b>COSTOS DE DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA .....</b>	<b>205</b>
<b>10.5</b>	<b>POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS .....</b>	<b>206</b>
<b>10.6</b>	<b>ACCIONES PARA ADOPTAR UNO O MÁS ESTÁNDAR.....</b>	<b>207</b>
<b>10.7</b>	<b>ESQUEMA FINANCIERO.....</b>	<b>207</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>209</b>

#### LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2-1. Esquema con los tipos de conectores. (Enel X, 2019).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2-2. Consideración redes eléctricas inteligentes (Velandia, 2010).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2-3. Esquema general de los componentes de una electrolinera. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2-4. Esquema de una electrolinera con unidades de potencia y control en exteriores. (Tritium, 2019).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2-5. Resumen de Sistemas de Carga. ....</i>	<i>35</i>

<i>Figura 2-6. Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 50 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)</i> .....	40
<i>Figura 2-7 Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 150 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)</i> .....	41
<i>Figura 2-8 Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 350 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)</i> .....	42
<i>Figura 2-9. Stock de EVs en los principales mercados. (IEA, 2019)</i> .....	44
<i>Figura 2-10. Ventas de EVs y cuota de mercado en los diez principales países EV y Europa. 2013-2018. (IEA, 2019)</i> .....	44
<i>Figura 2-11. Instalación global de cargadores Eléctricos LDV (Vehículos Livianos), 2013-18 (IEA, 2019)</i> .....	45
<i>Figura 2-12. Inventario de vehículos eléctricos y cargadores de acceso público por país, 2018 (IEA, 2019)</i> .....	46
<i>Figura 2-13. Relación entre salidas de carga de acceso público por coche eléctrico para determinados países, 2017. (IEA, 2018a)</i> .....	47
<i>Figura 2-14. Número de puntos de carga rápida en los principales mercados de vehículos eléctricos por tipo de conector a partir del 1 de enero de 2018. (Nicholas &amp; Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)</i> .....	47
<i>Figura 2-15. EVs por punto de carga rápida en función de la penetración en el mercado en mercados líderes seleccionados a fines de 2016 (excepto donde indique otra fecha) (Nicholas &amp; Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)</i> .....	48
<i>Figura 2-16. Crecimiento de Estaciones de Recarga en EE.UU. (EVCA, 2018)</i> ....	49
<i>Figura 2-17. La infraestructura de carga en vigor en 2017 como porcentaje de la infraestructura necesaria para 2025 para apoyar el mercado de EVs por área metropolitana. (ICCT, 2019)</i> .....	50
<i>Figura 2-18. Número de EVSE en la región nórdica, 2010-17 (IEA, 2018b)</i> .....	50
<i>Figura 2-19. Stock de automóviles eléctricos y tomas EVSE disponibles al público, por tipo de cargador y país, 2017 (IEA, 2018b)</i> .....	51
<i>Figura 2-20. Relación de tomas EVSE de acceso público por EVs en la región nórdica, 2017 (IEA, 2018b)</i> .....	51



<i>Figura 2-21. Número de EVSE de flota pública y dedicada de China, en miles. (COLUMBIA   SIPA, 2019) .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2-22. Cargadores de bus dedicados y cargadores rápidos de acceso público por país, 2018 (IEA, 2019) .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2-23. Despliegue de buses eléctricos en Shenzhen, China. (Lu Lu, Xue, &amp; Zhou, 2018) .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2-24. Número de estaciones de carga en carretera y objetivos de distribución en regiones seleccionadas para 2018. (IEA, 2018a).....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 2-25. Estados con políticas e incentivos para vehículos con energías alternativas. (C2ES, 2019).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3-1. Cantidad de Cargadores y Distribución de Tipos de Conectores para Bogotá a 2019. (Electromaps, 2019a) .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3-2. Cantidad de Cargadores y Distribución de Tipos de Conectores para Medellín a 2019. (Electromaps, 2019b).....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3-3. Flujo de vehículos privados – viajes interurbanos (Sanchez, 2012) ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3-4. Crecimiento Parque Automotor (2001-2018) .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3-5. Vehículos eléctricos matriculados (2011-2008) (Andemos, 2019).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3-6. Total vehículos eléctricos anual (2011-2008) (Andemos, 2019) .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3-7. Proyecciones parque automotor realizadas por la UPME. (Millones de unidades) .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3-8. Proyecciones UPME de Crecimiento de EVs para 2030. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3-9. Cantidad de EVs por EVSE para diferentes escenarios. ....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3-10. Registro anual de automóviles en las ciudades seleccionadas. (RUNT, 2019) .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3-11. Participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional. (RUNT, 2019) .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3-12. Penetración esperada de vehículos livianos eléctricos en las tres ciudades principales .....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3-13. Número de cargadores públicos requeridos en Bogotá a 2030 .....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 3-14. Número de cargadores públicos requeridos en Medellín a 2030.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3-15. Número de cargadores públicos en Cali a 2030 .....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3-16. Esquema para el despliegue de puntos de carga en las ciudades....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3-17. Proyección de vehículos livianos en ciudades intermedias .....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 3-18. Proyección puntos de carga ciudades seleccionadas (Escenario 11 kW). .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3-19. Proyección de la entrada anual de nuevos vehículos eléctricos que requieren carga pública y de estaciones de carga pública para las ciudades de interés. (Escenario 11 kW). .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 3-20. Número de estaciones de servicio por suministradores mayoristas de combustible (SICOM, 2019) .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 3-21. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Bogotá .....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 3-22. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Medellín. ....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3-23. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Cali</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3-24. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Pereira. ....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3-25. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Ibagué.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 3-26. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Tunja. ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 3-27. Número de camiones eléctricos de carga urbana en las ciudades de interés. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3-28. Estaciones de carga para camiones urbanos de carga en las ciudades de interés.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3-29. Entrada de nuevos camiones eléctricos de carga urbana y de estaciones de carga para las ciudades de interés.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 3-30. Estructura Metodología .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 3-31. Puntos de interés para puntos de carga en Bogotá.....</i>	<i>101</i>

<i>Figura 3-32. Zona de Bogotá para el desarrollo potencial del mercado de vehículos eléctricos.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 3-33. Puntos de interés para instalación de puntos de carga en zonas con mercado potencial de EVs.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 3-34. Puntos de interés para instalación de puntos de carga en zonas con mercado potencial de EVs y áreas no estratificables con buffer de 100 m. ....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 3-35. Densidad poblacional en zonas con mercado potencial de EVs.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 3-36. Análisis de ubicación de estaciones de carga: Caso Bogotá.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 3-37. Ubicación potencial de cargadores para el transporte urbano.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 4-1. Altimetrías para las diferentes rutas seleccionadas. (Destinos y Planes, 2019).....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 5-1. Estructura de Costos para Estación de Carga Pública .....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 5-2. Distribución de Costos para la Instalación de una Estación de Carga Rápida con 1 EVSE. (Consultor, 2019) .....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 5-3. Costo de Instalación para Cargadores de Carga Rápida. (Agenbroad, 2014).....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 5-4. Distribución de Costos de Instalación de Cargadores de Carga Rápida. (Smith &amp; Castellano, 2015).....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 5-5. Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019) .....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 5-6. Distribución del costo total según tamaño de la instalación de carga. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019) .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5-7. Costo de Adquisición de Energía a Nivel Industrial para diferentes países (Incluye impuestos) (Eurostats, 2019) .....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 5-8. Porcentaje de Capex para Electrolinea (Caso Básico) de Carga Rápida. ....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 5-9. Porcentaje de Costos de O&amp;M para Electrolinea (Caso Básico) de Carga Rápida.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5-10. Porcentaje de Capex para Electrolinea (Caso ácido) de Carga Rápida. ....</i>	<i>143</i>

<i>Figura 5-11. Porcentaje de Costos de O&amp;M para Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 6-1. Número de puntos de carga rápida en los principales mercados de vehículos eléctricos por tipo de conector a partir del 1 de enero de 2018. (Nicholas &amp; Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018).....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 6-2. Estimaciones de BEV por cargador rápido en varias etapas del desarrollo del mercado en modelos seleccionados. (Nicholas &amp; Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018) .....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 7-1. Desarrollo de los mercados de nuevas tecnologías.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 7-2. Participación de la carga rápida pública en el total de carga pública en países. ....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 7-3. Estaciones de carga rápida cada 60 Km.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 7-4. Despliegue de la infraestructura en Latinoamérica (Arthur D. Little)..</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8-1. Cantidad de puntos de carga por regiones y por tipo de conector.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 8-2. Cantidad y porcentaje de participación de los tipos de conectores en Colombia. (Electromaps, 2019c) .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8-3. Cantidad de cargadores en el mundo por tipo de conector. ....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 8-4. Países con diferentes estándares de conectores para carga de EVs. (Hurt, 2018).....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 8-5. Recomendaciones de las acciones para estandarizar el tipo de conector. ....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 9-1. Costos de tecnología de vehículos para vehículos convencionales y eléctricos en 2018 para automóviles, crossovers y SUV. (Lutsey &amp; Nicholas, 2019) .....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 9-2. Costos de bancos de baterías para vehículos eléctricos de acuerdo con estudios y fabricantes. (Lutsey &amp; Nicholas, 2019) .....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 9-3. Costo Inicial de Adquisición de BEV con diferentes autonomías, Híbrido y Vehículo Convencional. (Lutsey &amp; Nicholas, 2019) .....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 9-4. Comparación de costo total de adquisición de un vehículo para 2018 y 2025 (Lutsey &amp; Nicholas, 2019).....</i>	<i>178</i>

Figura 9-5. Estado de Pérdidas y Ganancias de una electrolinera con un cargador rápido.....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 9-6. Flujo de Caja de una electrolinera con un cargador rápido..... **¡Error! Marcador no definido.**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Segmentación modos de transporte terrestre. ....	21
Tabla 2-1. Datos por nivel de carga.....	27
Tabla 2-2. Descripción general de las características del cargador EV en regiones clave. ....	28
Tabla 2-3 Costos por nivel de carga.....	38
Tabla 2-4 Costos de referencia en instalaciones de trabajo, cargadores de nivel 2 .....	39
Tabla 2-5 Costos cargadores rápidos DC 50 kW .....	39
Tabla 2-6 Costos de referencia cargadores rápidos DC 150 kW .....	40
Tabla 2-7 Costos cargadores rápidos DC 350 kW .....	41
Tabla 2-8. Costos cargadores en el sector residencial.....	43
Tabla 2-9. Régimen de carga para operaciones de buses de transporte público en diferentes ciudades del mundo.....	55
Tabla 2-10. Actualización de las políticas de implementación de EVs en regiones seleccionadas, 2018/19 .....	59
Tabla 2-11. Resumen de políticas para EVs en Canadá para 2018/2019. ....	60
Tabla 2-12. Resumen de políticas para EVs y EVSE en China para 2018/2019. ...	61
Tabla 2-13. Resumen de políticas para EVs y EVSE en UE para 2018/2019.....	62
Tabla 2-14. Resumen de políticas para EVs y EVSE en Japón para 2018/2019...63	
Tabla 2-15. Resumen de políticas para EVs y EVSE en Estados Unidos para 2018/2019.....	64
Tabla 3-1. Crecimiento Anual y CAGR Parque Automotor.....	72

<i>Tabla 3-2. Parque automotor eléctrico por ciudades y total país (RUNT, 2019) ....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 3-3. Proporción vehículos eléctricos sobre el parque automotor total.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 3-4. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 15.4 km). ....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3-5. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 20 km). ....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3-6. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 30 km). ....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3-7. Participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional (RUNT, 2019) .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 3-8. Promedio de participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional (RUNT, 2019) .</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3-9. Aplicación del esquema para la instalación de cargadores en las ciudades grandes .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3-10. Puntos de carga requeridos en ciudades intermedias en 2030 .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3-11. Aplicación del esquema para la instalación de cargadores en las ciudades intermedias.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3-12. Despliegue a 2030 de puntos de carga pública en ciudades principales del país. ....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 3-13. Estaciones de servicio (SICOM, 2019).....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3-14. Cálculo del número de estaciones de carga por bus eléctrico .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3-15. Cálculo del número de estaciones de carga por bus eléctrico .....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 4-1. Factor por temperatura (<math>M_w</math>) dependiendo de las condiciones climáticas. ....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 4-2. Factor de Flexibilidad por Velocidad en Carretera. ....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 4-3. Rutas seleccionadas para la evaluación de la metodología.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 4-4. Cálculo de distancia entre estaciones de carga en carreteras nacionales para diferentes rutas.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 4-5. Número de electrolineras entre ciudades seleccionadas.....</i>	<i>113</i>

<i>Tabla 5-1. Resumen de Costos Típicos para Diferentes Tipos de Estaciones. ...</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 5-2. Resumen de Costos Típicos (porcentual) para Diferentes Tipos de Estaciones .....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 5-3. Costos de EVSE para diferentes fabricantes. ....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 5-4. Precios Unitarios de Referencia para Instalación de Punto de Carga Rápida en Colombia. ....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 5-5. Costos Aproximados de Obra Civil y Eléctrica para Instalación de Punto de Carga Rápida en Colombia. ....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 5-6. Precios de Referencia para Transformadores en Colombia. ....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 5-7. Costos de lotes en Bogotá y Medellín aptos para instalación de estaciones de carga.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 5-8. Simulación de costos por adquisición de energía para la EVSE.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 5-9. Precios de Referencia para Servicios de Conexión a Internet.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 5-10. Costos Estimados Infraestructura Eléctrica para Buses Eléctricos Articulados. ....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 5-11. Descripción de condiciones para la previsión de costos para estaciones de carga en Colombia. ....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 5-12. Capex para Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida. ....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 5-13. Costos de O&amp;M para una Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida. ....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 5-14. Capex para Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida. ....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 5-15. Costos de O&amp;M para una Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida. ....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 7-1. Estaciones de carga pública en países europeos.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 7-2. Planes de redes de carga Ultrarrápida en Europa (Global Transmission Report, 2018).....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 9-1. Supuestos generales del modelo financiero de constructor/operador de una electrolinera .....</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>

Tabla 9-2. Estado de Pérdidas y Ganancias de una electrolinera con un cargador rápido..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 9-3. Flujo de Caja de una electrolinera con un cargador rápido..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 9-4. Flujo de Caja de una electrolinera con un cargador rápido..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 9-5. Costo por kilómetro para un vehículo eléctrico bajo diferentes supuestos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 9-6. Costo por kilómetro para un vehículo eléctrico según puntos de carga por estación ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 9-7. Costo por kWh para una electrolinera (Caso ácido) vs. Costo por kWh para el cargador propio..... **¡Error! Marcador no definido.**

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1. Concepto e-BRT con catenaria en Mérida, Venezuela (Velandia, 2012).....	23
Fotografía 2-2. Baterías recargables en bus (izquierda) y en automóvil eléctrico (derecha) .....	24
Fotografía 2-3. Bus eléctrico con recarga de oportunidad en ruta, Sao Paulo (Velandia, 2016) .....	24
Fotografía 2-4. Bus híbrido diésel en serie, Sao Paulo (Velandia, 2016).....	25
Fotografía 2-5. Estación de recarga en centro de educación San Diego (Velandia, 2019).....	30
Fotografía 2-6. Electrolinera para taxis eléctricos en Bogotá (Velandia, 2018).....	32
Fotografía 2-7. Subestación eléctrica en ruta para buses, Sao Paulo (Velandia, 2016).....	32
Fotografía 2-8. Patios de recarga flotas de buses en China (Cárdenas, 2019) .....	33
Fotografía 2-9. Subestación eléctrica en patios Quito (Velandia, 2015) .....	33
Fotografía 2-10. Punto de recarga privada para vehículos eléctricos en universidad, California (Velandia, 2019).....	35



*Fotografía 2-11. Estación de carga para buses públicos en patios. (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018) .....36*

*Fotografía 2-12. Estaciones de recarga pública en parqueaderos Bogotá (Melo, 2018).....36*

*Fotografía 5-1. Ejemplo de una Estación de Carga Rápida con 4 puntos de recarga en Europa. (Ionity, 2019) ..... 129*

*Fotografía 5-2. Estación de recarga para bus eléctrico articulado Transmilenio. (Velandia, 2018) ..... 135*

*Fotografía 5-3. Vehículo de recarga de oportunidad, Sao Paulo. (Velandia, 2014) ..... 137*

*Fotografía 5-4. Subestación eléctrica para punto de recarga en ruta (Velandia, 2014)..... 137*

*Fotografía 5-5. Bus eléctrico con catenaria, Quito. (Velandia, 2014)..... 138*

*Fotografía 5-6. Subestación de tracción y alimentación para catenarias, Sao Paulo. (Velandia, 2015) ..... 138*

## ACRONIMOS Y ABREVIACIONES

<b>AC</b>	Corriente Alterna
<b>AV</b>	Vehículo Autónomo
<b>BEV</b>	Vehículo Eléctrico a Baterías
<b>CAD</b>	Dólar Canadiense
<b>CCS</b>	Combine Charging System (Sistema Combinado de Recarga)
<b>CHAdemo</b>	Charge de Move
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>COP</b>	Peso Colombiano
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>EAFO</b>	European Alternative Fuels Observatory (Observatorio de Combustibles Alternativos Europeo)
<b>EC</b>	Comisión Europea
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental) (Estados Unidos)
<b>EUR</b>	Euro
<b>EV</b>	Vehículo Eléctrico, incluye BEV, PHEV o FCEV
<b>EVSE</b>	Electric Vehicle Supply Equipment (Equipo de Carga para Vehículo Eléctrico)
<b>FCEV</b>	Fuel Cell Electric Vehicle (Vehículo Eléctrico De Pila De Combustible)
<b>I+D</b>	Investigación y Desarrollo
<b>ICCT</b>	International Council on Clean Transportation

<b>ICE</b>	Internal Combustion Engine (Motor de Combustión Interna)
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
<b>LDV</b>	Light Duty Vehicle (Vehículo liviano)
<b>PHVE</b>	Plug-in Hybrid Vehicle (Vehículo híbrido de conectar)
<b>TCO</b>	Total Cost of Ownership (Costo total de la propiedad)
<b>USD</b>	Dólar estadounidense
<b>V</b>	Voltios
<b>ZEV</b>	Zero Emission Vehicles (Vehículos de cero emisiones)

#### **UNIDADES DE MEDICIÓN**

<b>g CO<sub>2</sub></b>	Gramos de CO <sub>2</sub>
<b>g CO<sub>2</sub>/km</b>	Gramos de CO <sub>2</sub> por kilómetro
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kWh</b>	Kilovatio-hora
<b>Mt CO<sub>2</sub></b>	Millones de toneladas de CO <sub>2</sub>
<b>MW</b>	Megavatio

## 1 INTRODUCCIÓN

La Unidad de Planeación Minero- Energética (“UPME”) llevó a cabo el Proceso de Solicitud Pública de Ofertas No. 010 – 2019 con el objetivo de contratar un equipo consultor para **“Establecer lineamientos y condiciones para el despliegue de infraestructura de carga de vehículos eléctricos para Colombia”** (“EL PROYECTO”). El Proyecto contempla utilizar las proyecciones de penetración de vehículos en el país para aplicar los lineamientos y condiciones desarrolladas tanto en municipios y ciudades como en carreteras intermunicipales. El consorcio USAENE- SUMATORIA (“EL CONSULTOR”) fue seleccionado para adelantar el Proyecto.

El objeto general del contrato es *“Establecer recomendaciones en materia de infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica en Colombia para los diferentes segmentos (buses, motos, taxis, brt, etc.)”*. Adicionalmente se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Revisar las tendencias internacionales en cuanto a la integración de sistemas de carga de diferentes segmentos de vehículos eléctricos (motos, vehículos de carga, vehículos de transporte, particulares, etc.).
2. Analizar y recomendar la infraestructura de carga rápida de vehículos eléctricos (motos, carros, camiones, buses, etc.), en 3 ciudades principales y desarrollar un caso de uso para 3 ciudades intermedias por número de habitantes (200,000, 450,000 y 700,000).
3. Analizar la infraestructura requerida para habilitar servicios de carga rápida de electrolineras en vías primarias y secundarias a lo largo del país.
4. Analizar los costos de equipamiento de las estaciones de carga rápida y las tendencias de despliegue en varias regiones internacionales.
5. Analizar las estrategias aplicadas por los países que han avanzado más rápidamente en el despliegue de estaciones de carga rápida públicas.
6. Analizar y recomendar las acciones requeridas para adoptar uno o varios estándares de conectores para vehículos eléctricos en estaciones de carga rápida.

Estos objetivos se desarrollaron en siete (7) productos que hacen parte de tres (3) entregas contractuales. En la primera entrega presentó el avance de la revisión de las experiencias internacionales en la implementación de la infraestructura de recarga, la caracterización de las ciudades escogidas para desarrollar la consultoría, la metodología para la implementación de los puntos de recarga, y la identificación de las necesidades de infraestructura para la recarga en vías interurbanas. La segunda entrega contempló el avance en el análisis de costos de equipamiento de las estaciones de carga rápida y el análisis de las estrategias aplicadas por los países que muestran un mayor avance en el despliegue de la red de recarga rápida.

El presente informe corresponde a la tercera entrega del Contrato, contiene los ajustes a los primeros 5 productos, y el desarrollo del producto 6 y 7, correspondientes al análisis y recomendaciones de las acciones requeridas para adoptar uno o varios estándares de conectores para vehículos eléctricos, costos, barreras, incentivos, lineamientos para POT's y políticas públicas, reglamentos técnicos requeridos, tipos de servicio y requisitos tarifarios, actores, esquemas financieros y obligaciones para integración con ministerios.

## 1.1 INTRODUCCIÓN A LA MOVILIDAD ELECTRICA

La tracción eléctrica se ha implementado durante más de un siglo en los diferentes segmentos del transporte terrestre. Si bien es claro que la tecnología evidencia una mayor memoria operacional (experiencia y confiabilidad de uso) en el transporte público: trenes y trolebuses, los vehículos eléctricos en el segmento particular emplean motores eléctricos similares y su evolución, tanto en tracción como en almacenamiento de energía se ha acelerado durante las últimas décadas. Sobre este particular, según el vehículo existen diferentes tipos de alimentación de energía al sistema de tracción eléctrica a bordo.

A continuación, se presentan los segmentos del transporte en los cuales se emplea tracción eléctrica, incluyendo una clasificación según el tipo de transporte urbano:

Tabla 1-1. Segmentación modos de transporte terrestre.

Sistema de transporte	Descripción <sup>1</sup>	Clasificación por volumen de pasajeros	Clasificación por tipo de uso
<b>Mopeds / motociclo<sup>2*</sup></b>	Vehículo automotor de dos (2) ruedas, provisto de un motor de combustión interna, eléctrico y/o de cualquier otro tipo de generación de energía, de cilindraje no superior a 50 cc si es de combustión interna y potencia nominal superior a 4 kW si es eléctrico	Individual	Particular
<b>Bicicleta asistida *</b>	Bicicleta equipada con un motor auxiliar con potencia nominal continua no superior a 0,35 kW, que actúa como apoyo al esfuerzo muscular del conductor. Dicha potencia deberá disminuir progresivamente conforme se aumente la velocidad del vehículo y se suspenderá cuando el conductor deje de pedalear o el vehículo alcance velocidad de 25 km/h	Individual	Particular
<b>Motocicleta</b>	Vehículo comúnmente de dos ruedas con una velocidad superior a 25 Km/h y con acelerador.	Individual	Particular
<b>Triciclos *</b>	Vehículo no motorizado de tres (3) ruedas, accionado con el esfuerzo del conductor por medio de pedales. Triciclo equipado con un motor auxiliar con potencia nominal continua no	Individual	Particular – Público

<sup>1</sup> Definiciones tomadas de: VELANDIA DURÁN, Edder Alexander. Energía Eléctrica. Alternativa energética para un transporte sustentable en Colombia. CODENSA S.A. E.S.P., 2009. 192 pág. ISBN: 978-958-44-6016-5

<sup>2</sup> Resolución 160 de 2017. Ministerio de Transporte de Colombia.



Sistema de transporte	Descripción <sup>1</sup>	Clasificación por volumen de pasajeros	Clasificación por tipo de uso
	superior a 0,50 kW, que actúa como apoyo al esfuerzo muscular del conductor. Dicha potencia deberá disminuir progresivamente conforme se aumente la velocidad del vehículo y se suspenderá cuando el conductor deje de pedalear o el vehículo alcance una velocidad de 25 km/h, el peso nominal de un Triciclo asistido no deberá superar los 270 kg.		
<b>Vehículo tipo automóvil, camperos y camionetas</b>	Vehículos utilizados para transporte particular o público individual.	Individual	Particular – Público
<b>Camiones</b>	Vehículos para transporte de carga con capacidad en función del chasis.	Masivo	Público
<b>Buses</b>	Vehículos tipo bus con capacidad en función de la longitud y características del chasis que circula en vías compartidas con el tráfico. Sus servicios pueden ser urbanos o interurbanos.	Masivo	Público
<b>Buses BRT (Bus Rapid Transit)</b>	Vehículos tipo bus articulado o biarticulado que circulan en vías exclusivas con plataformas de chasis piso bajo o piso alto.	Masivo	Público
<b>Trenes (LRT, metro, tranvía)</b>	Vehículos sobre rieles o llantas neumáticas con vagones articulados, longitud ajustable, con velocidad variable en función de la operación en vías compartidas, semi-segregadas o exclusivas.	Masivo	Público



## 2 EXPERIENCIA INTERNACIONAL

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS CARGADORES ELÉCTRICOS

#### 2.1.1 Tipos de conexiones para EVs

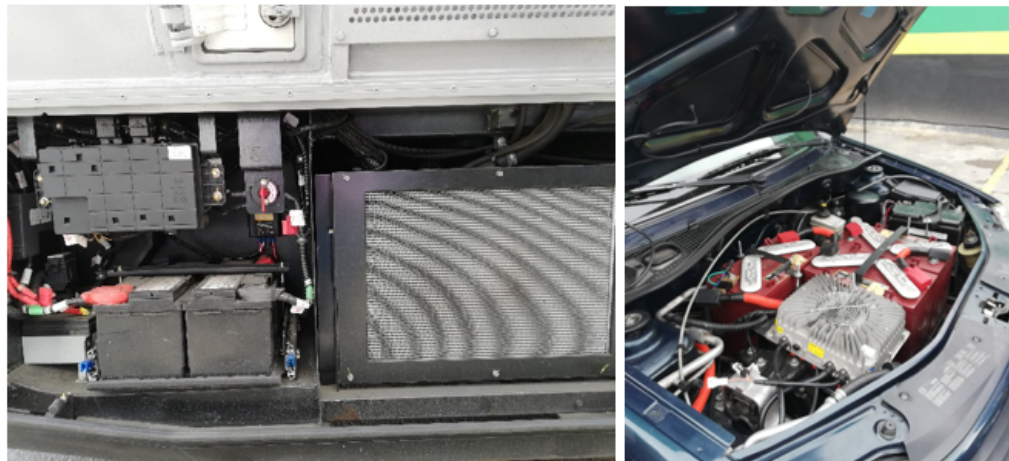
De acuerdo con las condiciones del servicio y las tipologías del vehículo, la alimentación de energía a los motores eléctricos a bordo se puede desarrollar mediante conexión directa, conexión indirecta, acumuladores a bordo (baterías) o sistemas de generación a bordo (híbridos). A continuación, se presenta un resumen de las opciones existentes a 2019 para vehículos eléctricos en el mercado.

- **Catenarias:** Alimentación mediante conexión directa desde línea de contacto, tradicionalmente elevada con doble línea (vehículos eléctricos sobre ruedas) o una línea con cierre en rieles. Mediante las catenarias se realiza alimentación directa a los motores con voltajes entre 750 V – 1500 V. Algunos vehículos que emplean catenarias son trenes, tranvías, trolebuses y camiones.



Fotografía 2-1. Concepto e-BRT con catenaria en Mérida, Venezuela (Velandia, 2012)

- **Baterías:** La alimentación de energía a los motores eléctricos se realiza mediante acumuladores de energía a bordo que son recargados desde la red de distribución eléctrica interconectada o desde una red eléctrica alimentada por un sistema de autogeneración autónomo. En el mercado actual existen diferentes tipos de baterías en función de sus componentes (cobalto, litio, plomo, níquel, etc.). Así mismo, en función del tipo de batería, la recarga se realiza con equipos con potencias variables que tienen efectos en los tiempos de recarga y en la durabilidad de los acumuladores. Esta alternativa de alimentación se emplea en todos segmentos del transporte, exceptuando vehículos de sistemas ferroviarios.



Fotografía 2-2. Baterías recargables en bus (izquierda) y en automóvil eléctrico (derecha)

- **Ultra capacitores:** Son dispositivos electroquímicos capaces de sustentar una densidad de energía inusualmente alta. Por sus características pueden recibir altas cantidades de energía eléctrica desde un equipo de recarga con alta potencia y entregar dichos paquetes de energía a un sistema de tracción eléctrica. Sin embargo, su uso en vehículos eléctricos se identifica como respaldo a baterías en sistemas de recarga de oportunidad especialmente.



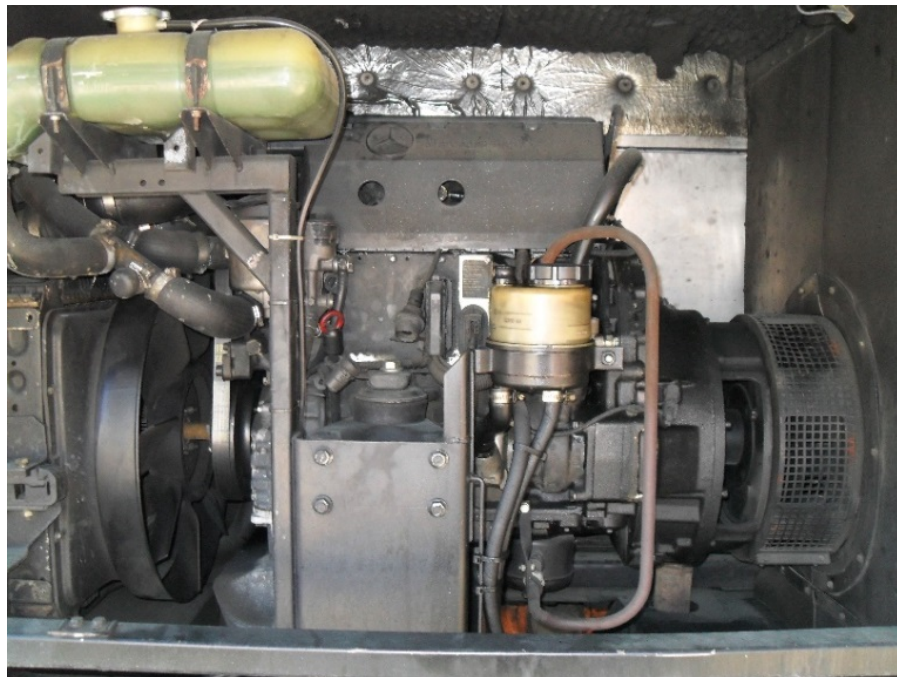
Fotografía 2-3. Bus eléctrico con recarga de oportunidad en ruta, Sao Paulo (Velandia, 2016)

- **Generadores a bordo:** La tecnología híbrida (Hybrid Electric Vehicle HEV) es una opción tecnológica en vehículos livianos y pesados, bajo configuraciones en serie y paralelo. Los híbridos en serie utilizan motor convencional acoplado a un generador que produce la energía para el motor eléctrico que acciona el giro de las ruedas, es decir, tiene una sola entrada de energía al motor. Una desventaja de esta configuración es que la energía debe ser convertida varias veces. Esta





alternativa energética se emplea principalmente en vehículos de transporte público.



*Fotografía 2-4. Bus híbrido diésel en serie, Sao Paulo (Velandia, 2016).*

En la configuración en serie existe la posibilidad de uso de baterías recargables desde la red eléctrica externa. Esta configuración se conoce como PHEV (Híbrido Plug-in). En la configuración híbrida en paralelo existen dos entradas de energía al motor provenientes del sistema eléctrico y del sistema convencional, las cuales operan según las exigencias de operación. En cualquiera de las configuraciones, la recarga de las baterías puede hacerse con el vehículo detenido o con el vehículo en movimiento, y existe la posibilidad de recuperar parte de su carga por regeneración durante el frenado. Durante la fase de detención del vehículo, el motor eléctrico funciona como un generador permitiendo la recuperación de un porcentaje de la energía cinética y convirtiéndola en energía que puede ser almacenada en las baterías.

## 2.1.2 Tipos de sistema de recarga

### 2.1.2.1 Modos de carga para EVs

El modo de la carga depende del tipo de conexión entre el equipo de recarga y el vehículo. De acuerdo con la norma IEC 62196<sup>3</sup> existen varias formas o modos de conexión de un vehículo eléctrico a la red de distribución.

**Modo 1:** Carga mediante conexión a toma estándar de uso no exclusivo. El BEV se conecta a la red de AC de Baja Tensión a través de un tomacorriente estándar. La base de toma de corriente es normalmente 16 A por fase y la tensión inferior a 250V monofásica o 480V trifásica. Prohibida en USA por razones de seguridad. Tiene potencias entre 3.7 kW hasta 11 kW.

**Modo 2:** Conexión a toma de corriente estándar de uso no exclusivo con sistema de protección incluido en el cable. El BEV se conecta a la red principal de AC de Baja Tensión a través de un conector estándar, siendo la base de toma de corriente de 32 A por fase y tensión inferior a 250V monofásica o 480V trifásica. El cable incorpora, además, una función piloto y un sistema de protección diferencial. La potencia se encuentra entre 3,7 kW y 22 kW.

**Modo 3:** Conexión a tomacorriente especial para uso exclusivo de recarga del vehículo eléctrico. El BEV se conecta a la red principal de AC de Baja Tensión con un conector y un tomacorriente específico (hasta 70A/250V en monofásico y hasta 63A/480V en trifásico) a través de un circuito de uso exclusivo. Las funciones de control y protección están al lado de la instalación fija de forma permanente. La potencia se encuentra entre 22 kW y 43.5 kW.

**Modo 4:** Conexión DC. El BEV se conecta a la red principal de AC de Baja Tensión a través de un cargador externo que realiza la conversión AC/DC en la instalación fija. Las funciones de control y protección, así como el cable de recarga, están instalados del lado de la pared de forma permanente. Este modo está pensado para carga rápida con potencias mayores a 50 kW.

En el mercado actual de vehículos eléctricos no existe consenso y estandarización internacional, entre fabricantes y desarrolladores de tecnología, por un tipo de conector o esquema de recarga.

Además de los modos de carga, a la fecha se han definido tres (3) niveles de carga (Ver Tabla 2-1), que dependerán de las potencias instaladas y definen el tipo de conector que se maneja. En la Tabla 2-1 se resumen los diferentes niveles.

---

<sup>3</sup> También conocido como CCS o Combo, es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de recarga (en especial, la rápida) para vehículos eléctricos y que se mantiene técnicamente por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

Tabla 2-1. Datos por nivel de carga.

Nivel de carga	Modo de Carga	Voltaje	Potencia típica	Autonomía BEV por hora de carga	Ubicación
Nivel 1	Modo 1	120 V AC	3.7 kW AC	4.8 – 6.4 km	Principalmente en hogares o instalaciones de trabajo
Nivel 2	Modo 2	208 V – 240 V AC	7.7 – 22 kW AC	16 – 32 km	Hogares, Instalaciones de trabajo y zonas publicas
Nivel 3	Modo 3 y 4	400 – 1,000 V DC	22 kW – 43.5 kW (AC) / >50 kW (DC)	240 km – 1,600 km	Publica, Frecuentemente entre ciudades.

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

### 2.1.2.2 Tipos de Conectores

El tipo de conector hace referencia al enchufe para la conexión de la recarga. En el mercado existen distintas referencias. Algunos de los conectores más comunes para vehículos eléctricos son:

**Schuko:** Norma UNE 20315. Conector genérico para uso doméstico, homologado 10A/16A y monofásica 2,3 KW. Esta opción es válida para pequeños vehículos eléctricos (referencia Renault Twizy), motocicletas eléctricas e eBikes.

**SAE J1772 (Type 1):** Estándar norteamericano adoptado por la Society of Automotive Engineers. Este conector es utilizado principalmente en Estados Unidos y Japón. El componente es diseñado para sistemas monofásicos de 120V o 240V, 32A y hasta 7,2 KW.

**Mennekes (Type 2):** Utilizado principalmente en Europa. Viable para sistemas trifásicos de hasta 500V/63A y 250V/70A monofásicas. Puede brindar las dos opciones de conexión hasta 43 KW. Este tipo de conector es empleado en países como Reino Unido, Alemania e Italia.

**GB/T:** Es usado principalmente en China. Es el conector más usado a nivel mundial teniendo en cuenta el mercado chino y el despliegue que ha tenido la movilidad eléctrica en esta región.

**Combo (CCS 1 o CCS 2):** Se presenta como una “evolución” de los conectores para vehículos eléctricos. Este conector incorpora un sistema combinado para carga lenta y carga rápida. De esta manera se presentan dos conectores tipo combo: uno SAE J1772 con la carga en DC y otro conector tipo Mennekes con carga DC. Bajo esta tipología se logra cargas hasta 90 kW. IEC 62196, también conocido como CCS o Combo, es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de recarga (en especial, la rápida)

para vehículos eléctricos y que se mantiene técnicamente por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

**CHAdEMO (CHARGE de MOve):** Corresponde al estándar propuesto a nivel mundial para carga rápida de hasta 400 kW (CHAdEMO, 2019) con corriente directa. Este conector es una tendencia entre fabricantes japoneses y permite recarga rápida DC. Este tipo de conector comienza a ser utilizado para diferentes vehículos en la Comunidad Europea y Norteamérica.

**TESLA:** Este conector está diseñado exclusivamente para uso de los vehículos TESLA, fue desarrollado por la misma compañía. Este tipo de conector funciona tanto para AC como DC, usando su red de supercargadores que ha sido desplegado a nivel de Estados Unidos y Europa. Sin embargo, Tesla tiene algunos adaptadores para los otros tipos de conectores dependiendo del mercado donde se venda el vehículo.



Figura 2-1. Esquema con los tipos de conectores. (Enel X, 2019)

### 2.1.2.3 Tipos de Conectores en el Mundo

En la siguiente tabla se presenta de manera resumida como ha sido el uso de conectores en diferentes países del mundo.

Tabla 2-2. Descripción general de las características del cargador EV en regiones clave.

	Tomas Convencionales	Cargadores Lentos	Cargadores Rápidos	
Nivel	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Corriente	AC	AC	AC -Trifásico	DC
Potencia	< 3.7 kW	> 3.7 kW y < 22 kW	> 22 kW y < 43.5 kW	< 400 kW
Australia	Type 1	IEC 62196-2 Type 2		
China	Type 1	GB/T 20234 AC		Requiere GB/T 20234 DC

	Tomas Convencionales	Cargadores Lentos	Cargadores Rápidos	
Nivel	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Corriente	AC	AC	AC -Trifásico	DC
Potencia	< 3.7 kW	> 3.7 kW y < 22 kW	> 22 kW y < 43.5 kW	< 400 kW
Espacio Económico Europeo	Type C/F/G	IEC 62196-2 Type 2	IEC 62196-2 Type 2	Requiere CCS Combo 2 (IEC 62196-3) y acepta todos los estándares IEC 62196-3 (Incluyendo CHAdeMO)
India	Type C/D/M	IEC 62196-2 Type 3 y IEC 60309 Bharat AC-001 (<10 kW) Bharat DC-001 (<15 kW)	IEC 62196-2 Type 2	Requiere CCS Combo 2 y CHAdeMO (IEC 62196-3)
Japón	Type B	SAE J1772 Type 1		Acepta todos los estándares IEC 62196-3 (CCS Combo 1, CHAdeMO)
Corea	Type A/C	IEC 62196-2 Type 2		CCS Combo 1 (IEC 62196-3) y acepta todos los estándares IEC 62196-3 (incluyendo CHAdeMO)
Nueva Zelanda	Type 1	IEC 62196-2 Type 2	IEC 62196-2 Type 2	Requiere CCS Combo 2 y CHAdeMO (IEC 62196-3)
Norte América	Type B; SAE J1771 Type 1	SAE J1772 Type 1	SAE J3068	Acepta CCS Combo 1 (SAE J1772 y IEC 62196-3) y CHAdeMO (IEC 62196-3)
Singapur	Type G	IEC 62196-2 Type 2	IEC 62196-2 Type 2	Requiere CCS Combo 2 (IEC 62196-3)
Tailandia	Type A/B/C/F	IEC 62196-2 Type 2		Acepta todos los estándares IEC 62196-3 (CCS Combo 1, CCS Combo 2, CHAdeMO)

Tesla tiene su propio conector, pero desde 2013, Tesla tiene un adaptador que puede conectar el conector Tesla y el conector CHAdeMO y más recientemente un adaptador para CCS Combo 2 en Europa.

El Espacio Económico Europeo incluye a la Unión Europea, Suiza, Noruega e Islandia. Los conectores tipo 2 IEC 62196-2 y 62196-3 (CCS Combo 2) están obligados en la Unión Europea por la Directiva sobre infraestructura alternativa de combustible (CE, 2014) y se aplican al Espacio Económico Europeo. Norte América incluye los países de Estados Unidos, Canadá y México. Fuente (IEA, 2019)

#### 2.1.2.4 Modos de Comunicación

Los modos de carga tienen asociado un nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga, y por tanto el control que se puede tener del proceso de carga (estado, programación de inicio/detención, V2G). El nivel de comunicación varía dependiendo del Modo del conector:

- Modo 1. Sin comunicación con la red. Corresponde al que se aplica a una toma de corriente convencional con conector Schuko.
- Modo 2. Grado bajo de comunicación con la red. El cable cuenta con un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para verificar la correcta conexión del vehículo a la red de recarga. Podría seguir usándose un conector Schuko.



- Modo 3. Grado elevado de comunicación con la red. Los dispositivos de control y protecciones se encuentran dentro del propio punto de recarga y el cable incluye hilo piloto de comunicación integrado (SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame).
- Modo 4. Grado elevado de comunicación con la red. Hay un convertor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida (CHAdeMO).

### 2.1.2.5 Consideraciones de Recarga

- **Recarga unidireccional:** Bajo este esquema, la recarga desde la red eléctrica a la batería se realiza en una dirección. Es un esquema tradicional de consumo de electricidad por parte de un equipo.



Fotografía 2-5. Estación de recarga en centro de educación San Diego (Velandia, 2019)

- **Recarga esquemas V2G:** Bajo este esquema se considera al vehículo eléctrico como un elemento del sistema de generación y distribución. Se considera que en el cargador existe un control que se programa de tal forma que seleccione los horarios de recarga de la batería y/o la posibilidad de despachar desde la batería a la red eléctrica desde una lógica de oportunidad de precios. De esta forma, las baterías se convierten en un “storage” para los sistemas de generación en la red eléctrica. Por último, se considera como un esquema propio a las “Smart Cities”.

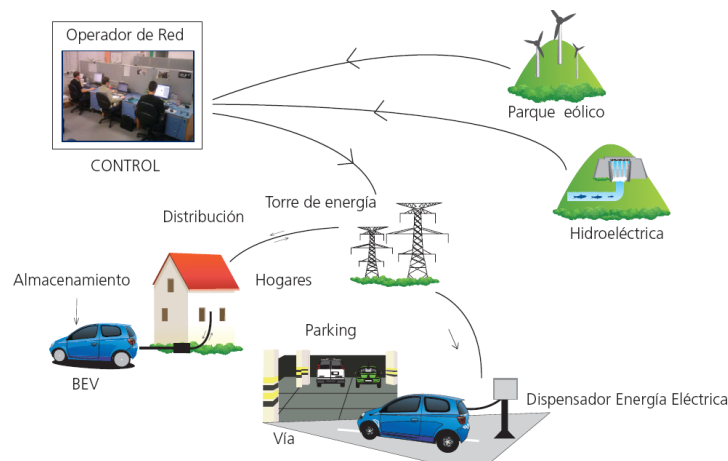


Figura 2-2. Consideración redes eléctricas inteligentes (Velandia, 2010)

### 2.1.3 Configuración de recarga

De acuerdo con el tipo de servicio, condiciones para acceso y las características de los vehículos eléctricos, los esquemas de recarga se pueden clasificar en 3 categorías:

1. Cargadores aislados privados
  2. Cargadores públicos (en vía/ espacio público)
  3. Estaciones de recarga en patios.
- **Cargadores aislados:** Considerado para la recarga de vehículos eléctricos particulares y acceso restringido a terceros. Para este caso, la instalación de cargadores típicamente lentos (4 - 8 h de carga) en construcciones residenciales y oficinas no representa mayores exigencias a las redes eléctricas internas. Sin embargo, en todos los casos se debe garantizar el cumplimiento del Retie. En casos en que se requiera carga semirápida o carga rápida, la red eléctrica interna debe contar con un suministro de energía de mayor capacidad.
  - **Cargadores públicos:** Bajo esta consideración los cargadores típicamente semirápidos se instalan en espacio público y/o en estacionamientos públicos estando en capacidad de eventualmente dar acceso a terceros. Estos son considerados electrolineras (vehículos eléctricos privados) y dependiente de la cantidad de cargadores exigen obras de infraestructura eléctrica adicionales para garantizar el suministro y la confiabilidad.



Fotografía 2-6. Electrolinera para taxis eléctricos en Bogotá (Velandia, 2018)

- **Cargadores en espacio público:** En el caso de transporte público es posible la implementación de cargadores rápidos y ultrarrápidos que permiten balancear las baterías de buses en puntos específicos de la ciudad.



Fotografía 2-7. Subestación eléctrica en ruta para buses, Sao Paulo (Velandia, 2016)

- **Patios de recarga:** Considerado para la recarga de vehículos eléctricos empleados para transporte público (buses, flotas de taxis), carga (camiones livianos y utilitarios) y flotas vehiculares empresariales. En este caso, la concentración de cargadores exige la implementación de subestaciones eléctricas robustas y líneas de confiabilidad de suministro de energía eléctrica.

Esta configuración de recarga en patios presenta exigencias a las redes eléctricas debido a la concentración de cargadores y horarios de recarga, hechos que inducen a una alta potencia y consumo de electricidad. En función de la ubicación dentro de una red eléctrica representa exigencias para garantizar la calidad y la confiabilidad del suministro eléctrico.





Fotografía 2-8. Patios de recarga flotas de buses en China (Cárdenas, 2019)



Fotografía 2-9. Subestación eléctrica en patios Quito (Velandia, 2015)

#### 2.1.4 Caracterización de la red de recarga

Las estaciones de carga o electrolineras están compuestas en general por uno o varios cargadores – EVSE –. Estos cargadores en función del nivel de “inteligencia” contienen a su vez unidades de control, de comunicaciones y de potencia integrados generalmente, sin embargo, para potencias mayores a 150 kW estas unidades se pueden tener externas, como es el caso del Veevil PK de la marca Tritium (Tritium, 2019). Adicionalmente, las estaciones cuentan con una infraestructura civil y eléctrica. Respecto a la vida útil de los cargadores, estos pueden tener una vida útil cercana a los 10 años de acuerdo con el fabricante ABB.

En la siguiente figura, se presenta el esquema general de los componentes para una electrolinera.

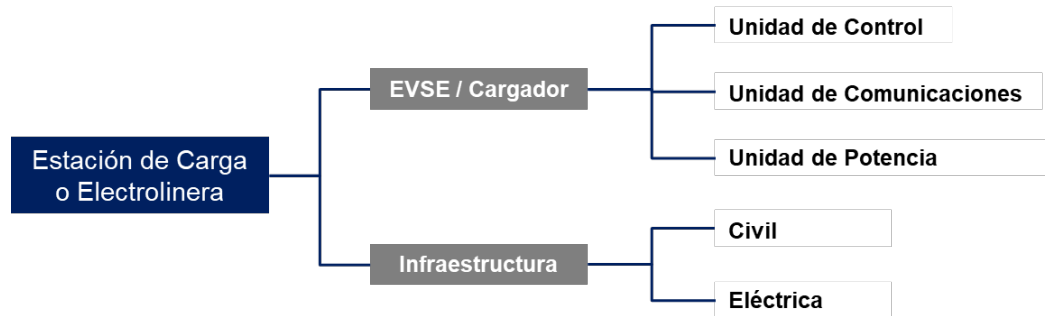


Figura 2-3. Esquema general de los componentes de una electrolinera.

En el caso de las electrolineras donde las unidades de control, potencia y comunicaciones van externas, tendrían la siguiente disposición.

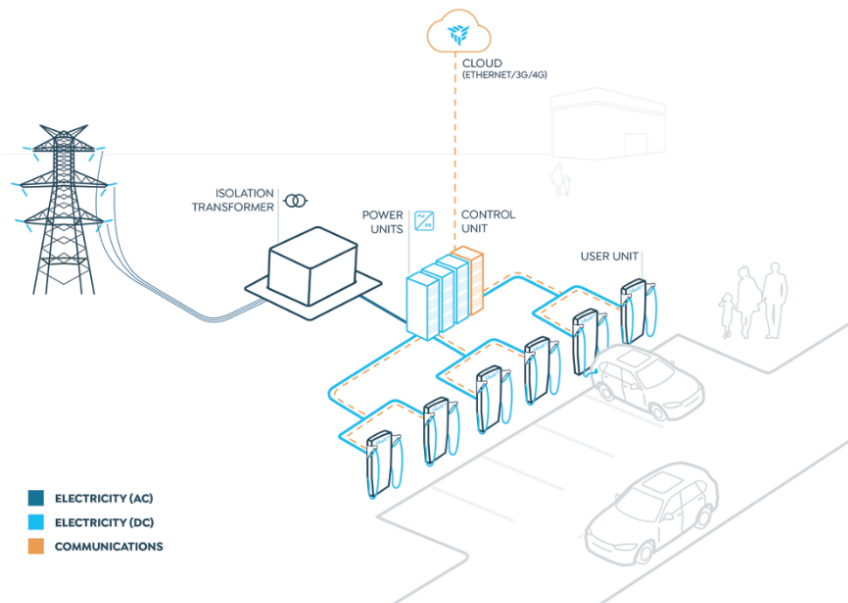


Figura 2-4. Esquema de una electrolinera con unidades de potencia y control en exteriores. (Tritium, 2019)

Las estaciones de carga o electrolineras se pueden agrupar de distintas maneras: por su uso privado o público, por su destino o vocación: residencial, oficinas, uso comercial, por su capacidad y velocidad de carga: lenta (<7.4 kW), semirápida (7.4 kW ≤ y ≤ 22 kW), rápida (>22 kW), entre otras. En la Figura 2-5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un resumen del panorama de cargadores que se pueden identificar.

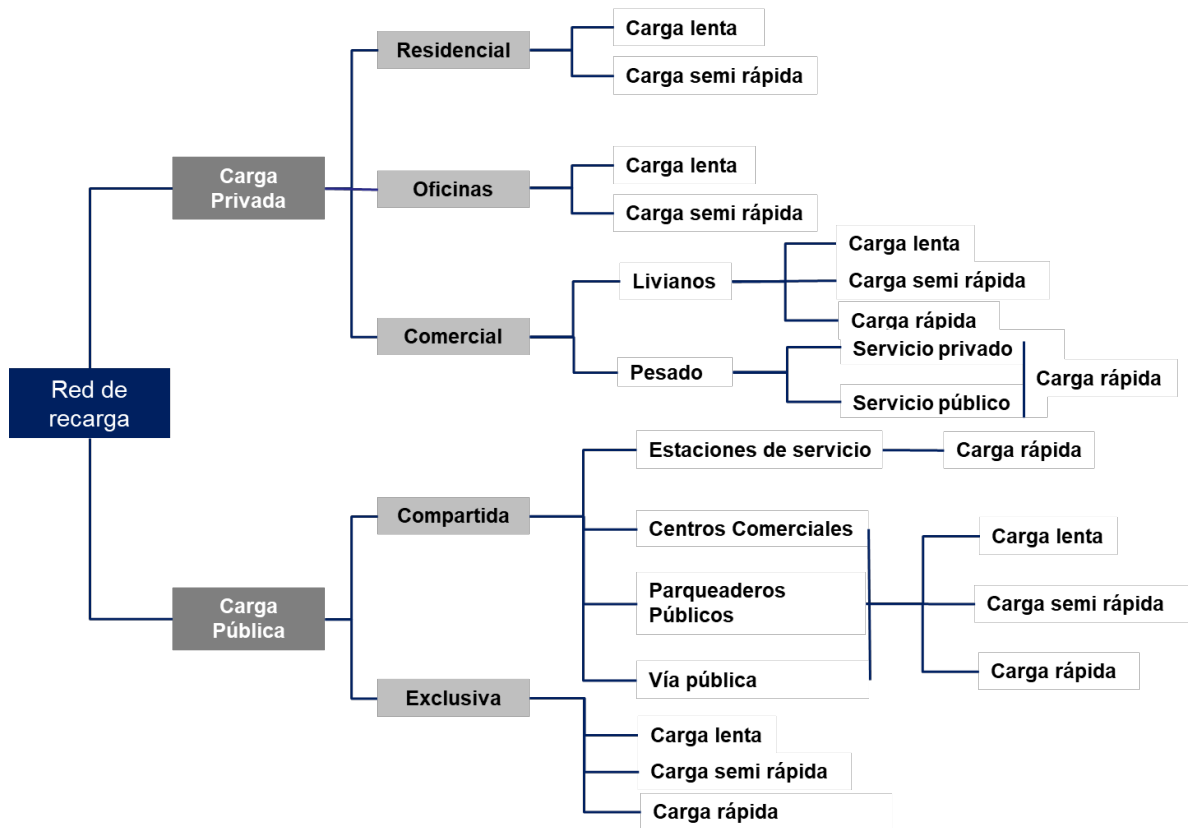
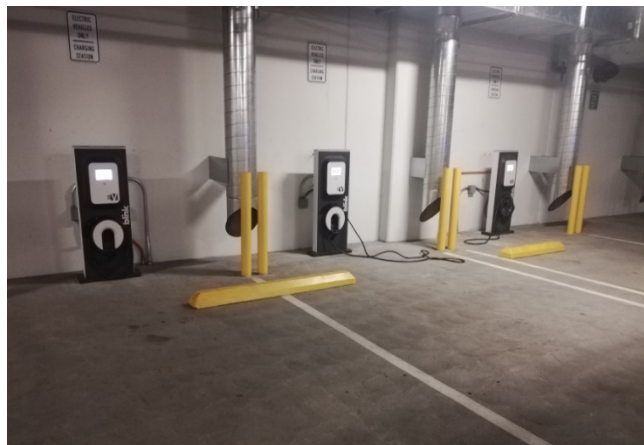


Figura 2-5. Resumen de Sistemas de Carga.

La red de recarga privada aplica para carga residencial, oficinas y comercial. El caso de residencial es el más sencillo, pues corresponde a carga en casa para uso exclusivo del propietario, la carga en oficina se refiere a la infraestructura dispuesta para la carga realizada en el parqueadero de las empresas y de uso exclusivo para los empleados/estudiantes, de la empresa o universidad.



Fotografía 2-10. Punto de recarga privada para vehículos eléctricos en universidad, California (Velandia, 2019)

Por último, la carga comercial, donde las empresas privadas y/o públicas, cuentan con sus estaciones de carga en los patios para sus flotas de EVs, por lo que no son de acceso al público y por eso se consideran, carga privada.



Fotografía 2-11. Estación de carga para buses públicos en patios. (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018)

La red de recarga pública por otro lado hace referencia a estaciones de carga que se encuentran abiertas al público en general y estas se pueden dividir en espacios “compartidos” o “exclusivos”.

Los espacios “compartidos” son espacios donde el espacio no es usado con exclusividad para realizar recarga de EVs, sino que se presta para otros usos, como lo pueden ser los centros comerciales, que prestan el servicio de parqueadero, pero a la vez prestan el servicio de recarga, o las estaciones de servicio actuales, que cuentan con abastecimiento de combustibles líquidos, zona de comidas y otros servicios.



Fotografía 2-12. Estaciones de recarga pública en parqueaderos Bogotá (Melo, 2018)

Finalmente, los espacios “exclusivos” se refieren a espacios que son utilizados únicamente para realizar recarga de EVs, es decir, electrolinerías puras.

## 2.2 COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE RECARGA

La entrada de BEVs en el mercado requiere el despliegue de la infraestructura necesaria para la recarga de estos. De acuerdo con la experiencia internacional analizada (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019), al inicio la mayoría de los conductores dependerá de estaciones de carga ubicadas en sus domicilios mientras que la construcción de la infraestructura de recarga pública mejorará la predisposición de los usuarios para adquirir BEVs, la máxima distancia que estos puedan recorrer y le dará acceso a aquellos usuarios que no puedan adquirir sistemas de carga en sus viviendas (vivienda alquilada, restricciones de propiedad horizontal o capacidad de la red, entre otros). Entonces los usuarios, los fabricantes de automóviles, las entidades regulatorias y las empresas de energía se hacen dos preguntas: ¿cuánta infraestructura se necesita en el futuro? y ¿cuál será el costo de esta?

En este capítulo se presentarán los costos reportados en 2019 asociados a la infraestructura necesaria en diferentes niveles de carga, principalmente la experiencia vivida en Estados Unidos. Se explorarán los costos asociados con la infraestructura en el sector público, oficinas y residencial. De mismo modo, se presentarán los costos asociados a los equipos y la instalación de estos en los diferentes sectores.

### 2.2.1 Costo de cargador por tipo y ubicación

El nicho de los cargadores de nivel 1 es principalmente en hogares y en algunas instalaciones laborales, mientras que los cargadores de nivel 2 tienen un rango más amplio de aplicaciones, tales como centros comerciales, universidades, parqueaderos públicos, residencial, oficinas, EDS y estos pueden ser cargadores “inteligentes” que permiten estar conectados a servicios de red y obtener información de utilidad como estadísticas de uso, o prestar servicios de pagos con datáfono incluido en el cargador, entre otros.

Del informe publicado por el ICCT (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019), se recuperaron los costos de equipos de carga en diferentes niveles en el sector público e instalaciones laborales. Se tomaron las siguientes suposiciones respecto a la potencia de carga. Los cargadores de nivel 1 tendrán una potencia de carga de 1.4 kW, los de nivel 2 - 6.6 kW y los de carga rápida será una combinación entre 50, 150 y 350 kW.

De esta manera, los costos de los equipos en diferentes niveles de carga son los siguientes:

Tabla 2-3 Costos por nivel de carga

Nivel	Tipo	Cargadores por pedestal	Costo por cargador (USD)
Nivel 1	Sistema de comunicación básico.	Uno	813
Nivel 1	Sistema de comunicación básico.	Dos	596
Nivel 2	Sistema de comunicación básico.	Uno	1,182
Nivel 2	Sistema de comunicación básico.	Dos	938
Nivel 2	Sistema de comunicación complejo (Comunicación con sistema de cobro).	Uno	3,127
Nivel 2	Sistema de comunicación complejo (Comunicación con sistema de cobro).	Dos	2,793
Carga rápida DC	Sistema de comunicación complejo (Comunicación con sistema de cobro). 50 kW	Uno	28,401
Carga rápida DC	Sistema de comunicación complejo (Comunicación con sistema de cobro). 150 kW	Uno	75,000
Carga rápida DC	Sistema de comunicación complejo (Comunicación con sistema de cobro). 350 kW	Uno	140,000

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Estos costos incluyen el cargador y su pedestal. Los ítems principales para determinar el costo de una unidad de carga son su potencia en kW, si requiere o no pedestal y si requiere de algún sistema de comunicación o sistema de pago. Como se puede ver en la tabla anterior, a medida que se aumentan el número de cargadores por pedestal, se reduce el costo de la unidad de carga. Además, cuando es necesario adicionar algún sistema de comunicación, esto puede hasta duplicar los costos. Estos sistemas de comunicación permiten la comunicación de los cargadores vía wifi o celular para así reportar uso, número de usuarios y recolectar información de métodos de pago. A medida que el sistema de comunicación es más complejo, más costoso es el cargador.

Respecto a los costos de instalación, para el nivel de carga 2, en instalaciones de trabajo, por número de cargadores en sitio tenemos los siguientes datos:

Tabla 2-4 Costos de referencia en instalaciones de trabajo, cargadores de nivel 2

Costos en USD		1 cargador por sitio	2 cargadores por sitio	3 – 5 cargadores por sitio	6 o más cargadores por sitio
California	Trabajos	2,471	1,786	1,491	1,747
	Materiales	1,235	958	1,014	908
	Permisos	283	172	110	65
	Impuestos	156	121	128	115
	Total	4,148	3,039	2,745	2,837
Fuera de California	Trabajos	1,544	1,827	1,647	1,316
	Materiales	1,112	1,039	1,272	874
	Permisos	82	62	59	38
	Impuestos	96	89	110	75
	Total	2,836	3,020	3,090	2,305

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Los costos de instalación están compuestos por los costos de trabajos, materiales, permisos, impuestos y mejoras a la red eléctrica. Como principal conclusión tenemos que a medida que se aumenta el número de cargadores por sitio, disminuyen los costos unitarios de instalación. El costo de mejorar la red eléctrica está embebido en la sección de materiales, pero es importante señalar, que en la práctica estos costos son responsabilidad de la empresa de distribución.

Ahora bien, en lo que respecta a instalaciones de carga rápida en DC tenemos los siguientes datos:

Tabla 2-5 Costos cargadores rápidos DC 50 kW

USD	50 kW			
	1 cargador por sitio	2 cargadores por sitio	3 – 5 cargadores por sitio	6 – 50 cargadores por sitio
Trabajos	19,200	15,200	11,200	7,200
Materiales	26,000	20,800	15,600	10,400
Permisos	200	150	100	50
Impuestos	106	85	64	42
Total	45,506	36,235	26,964	17,692

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

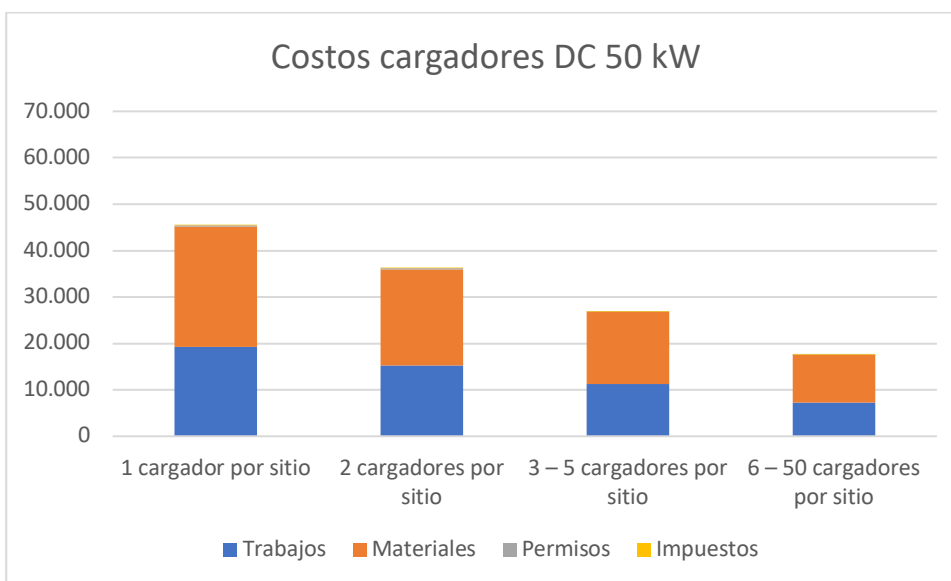


Figura 2-6. Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 50 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Tabla 2-6 Costos de referencia cargadores rápidos DC 150 kW

USD	150 kW			
	1 cargador por sitio	2 cargadores por sitio	3 – 5 cargadores por sitio	6 – 20 cargadores por sitio
Trabajos	20,160	15,960	11,760	7,560
Materiales	27,300	21,840	16,380	10,920
Permisos	210	158	105	53
Impuestos	111	89	67	45
<b>Total</b>	<b>47,781</b>	<b>38,047</b>	<b>28,312</b>	<b>15,577</b>

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)



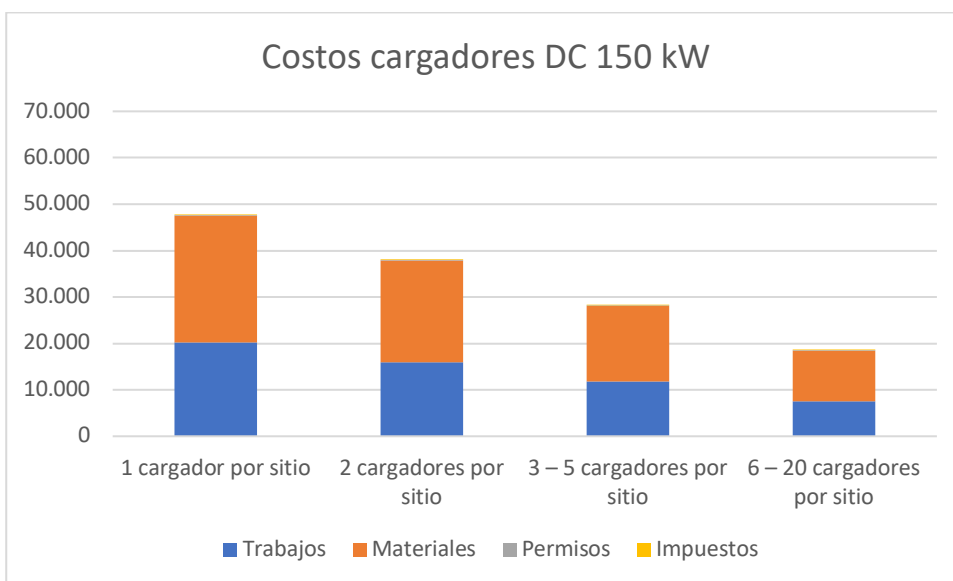


Figura 2-7 Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 150 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Tabla 2-7 Costos cargadores rápidos DC 350 kW

USD	350 kW			
	1 cargador por sitio	2 cargadores por sitio	3 – 5 cargadores por sitio	6 – 20 cargadores por sitio
Trabajos	27,840	27,840	22,040	10,440
Materiales	37,700	37,700	30,160	15,080
Permisos	290	290	218	73
Impuestos	154	154	123	62
<b>Total</b>	<b>65,984</b>	<b>65,894</b>	<b>52,541</b>	<b>25,654</b>

Fuente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

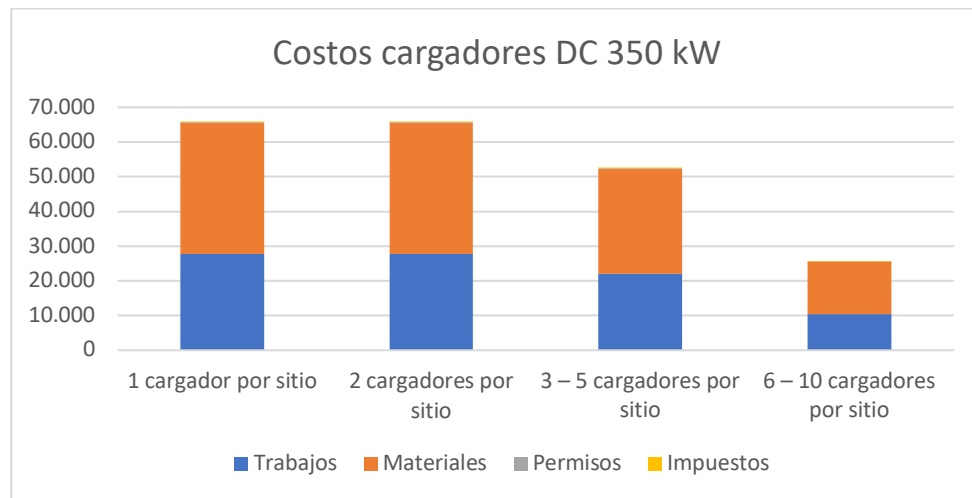


Figura 2-8 Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. Carga rápida 350 kW. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Similar a los cargadores de nivel dos, los cargadores rápidos en DC también ven disminuidos sus costos unitarios de instalación a medida que aumenta el número de cargadores por sitio. Del mismo modo, los costos no dependen proporcionalmente de la potencia del cargador. La instalación de un cargador con el triple de capacidad no es tres veces más alta. También es claro que los costos de instalación dependen únicamente del número de cargadores por sitio.

Es claro que a mayor potencia mayor el costo, esto se debe principalmente a que instalaciones de carga de alta potencia como las de 350 kW pueden necesitar mayor cantidad de materiales para su instalación y a que las redes de energía pueden necesitar más mejoras para recibir este tipo de equipos. Generalmente hay un límite de sitio de 2.5 MW de potencia antes de un cambio radical en los costos. Por lo tanto, para instalaciones de 50, 150 y 350 kW se pueden instalar entre 50, 20, y 10 cargadores respectivamente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019).

Por último, es importante aclarar que estos son solo los costos de instalación del equipo, aquí no se está tomando en cuenta costos adicionales como lo son terrenos, equipos de seguridad, iluminación, comunicaciones, señalización entre otros.

En lo que respecta al sector residencial, los costos de instalación son menores que en el sector público. Solo se consideran los niveles 1 y 2 y dependen de como el cargador es integrado a la vivienda (Casas o apartamentos). Al igual que en el sector público, estos costos incluyen los equipos, el trabajo, materiales, impuestos, mejoras a la red y los permisos, pero en las referencias encontradas solo se presenta el costo total. Los costos encontrados para el sector residencial son los siguientes:

Tabla 2-8. Costos cargadores en el sector residencial.

Nivel y categoría (USD)	Cargador integrado a la vivienda.	Apartamento
Nivel 1 toma de corriente mejorada	400	600
Nivel 1 cargador mejorado	700	900
Nivel 2 toma de corriente mejorada	680	3,300
Nivel 2 cargador mejorado	1,400	4,100

Fuente (Nicholas, *EV Charging Cost in US*, 2019)

Se considera como apartamento toda aquella estructura con más de tres unidades. Como se puede ver en la tabla se hace una diferenciación entre mejoras a la toma de corriente y mejoras a los cargadores. Mejoras a la toma de corriente corresponden a mejoras en el cableado para las salidas a 120 V y para las salidas a 240 V. Las mejoras en el cargador corresponden a mejores cableados para el cargador y enchufes, por si el usuario desea usar un conector diferente al entregado por el distribuidor.

Como se puede ver en la tabla, las instalaciones en apartamentos son más costosas que en viviendas, esto se debe principalmente a que se utilizan mayor cantidad de materiales en la instalación de estos sistemas en apartamentos y a medida que se requiera mayor potencia (mayor nivel de carga) el precio aumenta.

Para el caso colombiano, las instalaciones de un cargador Nivel 2, también depende del lugar de instalación (casa o apartamento) y su costo oscila entre COP\$ 4.800.000 y \$6.000.000 de acuerdo con información suministrada por los distribuidores.

## 2.3 GRADUALIDAD DE DESPLIEGUE DE ESTACIONES DE RECARGA

### 2.3.1 Vehículos livianos<sup>4</sup>

El inventario de EVs a nivel mundial ha alcanzado los 5.1 millones de unidades para 2018, eso representa un crecimiento del 63% respecto al año anterior. Este es un crecimiento similar al de años anteriores, con un crecimiento de 2015-2016 del 60% y del 57% en el periodo 2016-2017. Los BEVs equivalen al 64% de la flota de EVs.

Cerca del 45% de la flota de EVs en el mundo, se encuentra en China, siendo este país el líder en movilidad eléctrica y sostenible. Para el año 2017, contaba con cerca del 39% de la flota de EVs en el mundo, lo que significa que China realizó un avance

<sup>4</sup> Vehículo liviano es aquel destinado a transportar un reducido número de personas. Dentro de la categoría de livianos se incluyen los vehículos convertibles, coupé, sedan, deportivo, station wagon, SUV.

importante en la introducción de EVs en el mercado, llegando a los 2.3 millones de unidades en 2018.

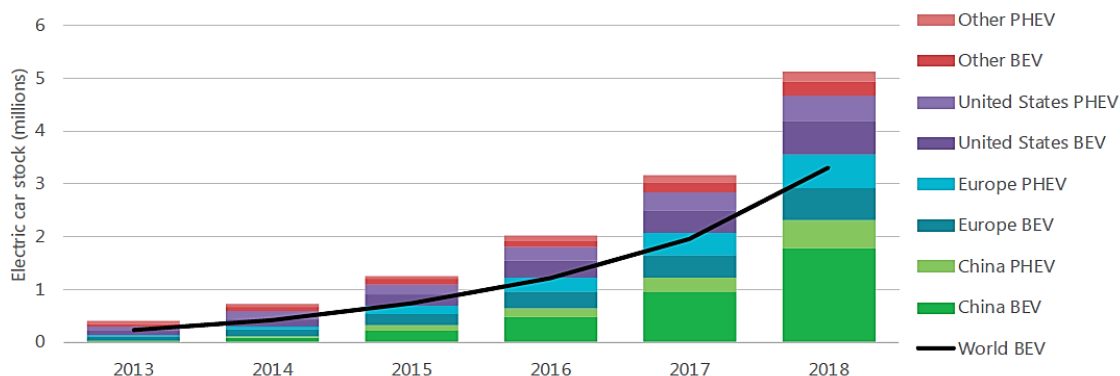


Figura 2-9. Stock de EVs en los principales mercados. (IEA, 2019)

Las ventas de EVs estuvieron cerca de los 2 millones de unidades para el 2018, después de alcanzar el millón de unidades en 2017. Esto representa un crecimiento en la venta de EVs del 68% entre 2017 y 2018.

China se mantiene como el líder en ventas y cantidad de EVs en el mercado con cerca de 1.1 millones de EVs vendidos en 2018, vendiendo unos 500,000 EVs más de lo que vendió en el año 2017.

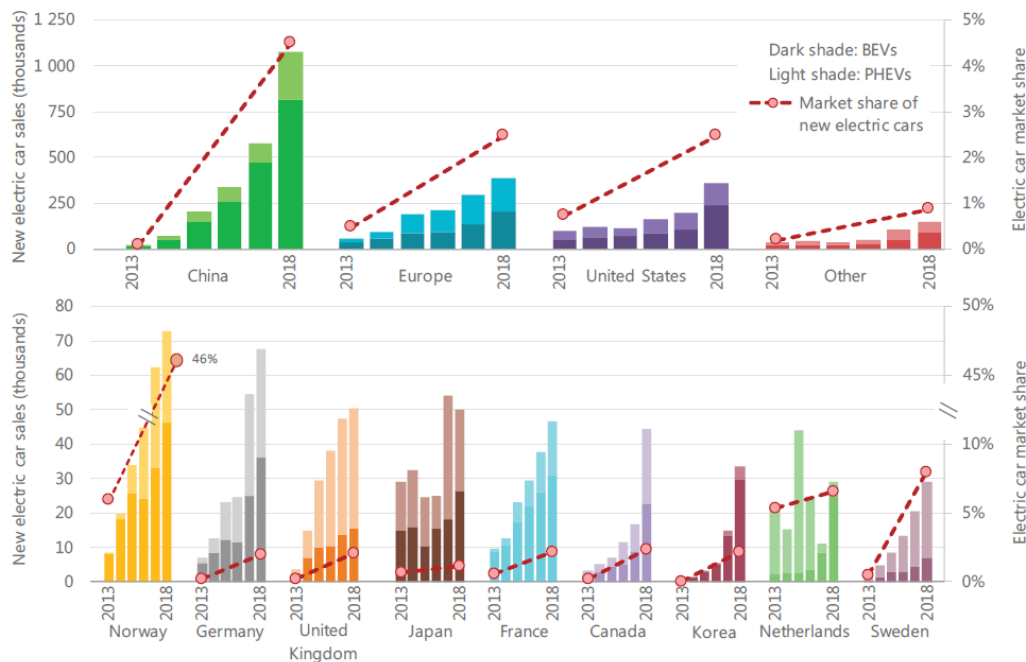


Figura 2-10. Ventas de EVs y cuota de mercado en los diez principales países EV y Europa. 2013-2018. (IEA, 2019)

Europa, es el segundo mercado en vehículos eléctricos, con ventas cercanas a las 385,000 unidades. Y Estados Unidos, es tercero con ventas anuales de 361,000 unidades.

### 2.3.1.1 Infraestructura de Estaciones de Recarga en el Mundo

El número de estaciones de recarga a nivel mundial está estimado en 5.2 millones (finales de 2018), un 44% más que en 2017. El mayor incremento se presenta en estaciones de recarga privadas, que representan más de 90% de las 1.6 millones de instalaciones realizadas en 2018. Las estaciones de recarga rápida públicas son aproximadamente 144,000 y las de carga lenta fueron 395,000 para finales de 2018.<sup>5</sup>

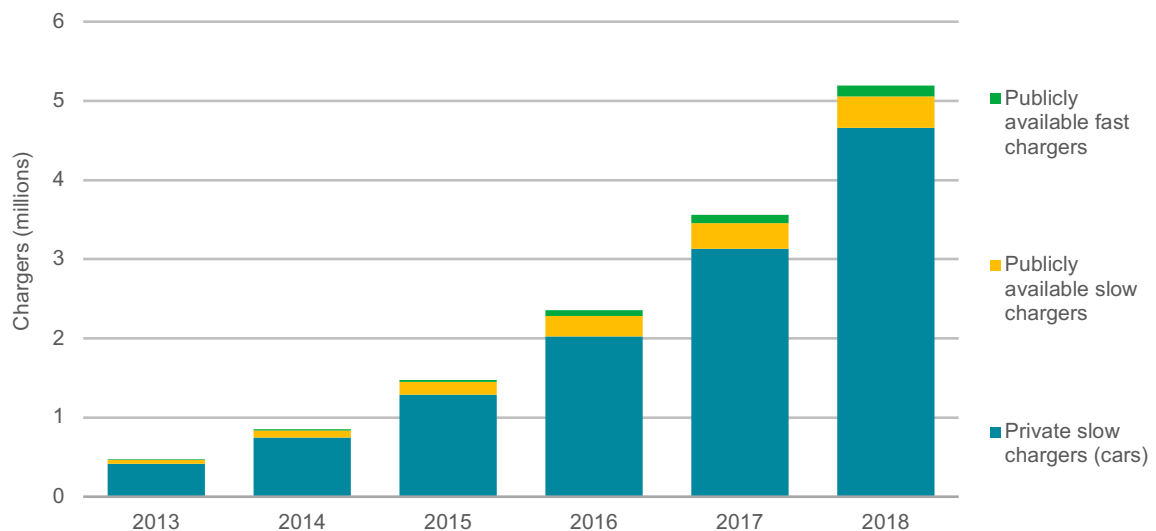


Figura 2-11. Instalación global de cargadores Eléctricos LDV (Vehículos Livianos), 2013-18 (IEA, 2019)

#### 2.3.1.1.1 Estaciones de recarga privadas

Obtener estadísticas de estaciones de recarga privadas en el mundo es difícil, debido a su naturaleza, porque no es posible rastrear la cantidad de cargadores Nivel 1 (Tomacorrientes residenciales, no usadas exclusivamente para recarga de EVs) y de Nivel 2 instalados en propiedad privada.

En el estudio de Global EV Outlook 2019 (IEA, 2019) asumen que en todos los países excepto China y Japón, cada VE tiene 1.1 cargadores privados (Nivel 1 o Nivel 2), ya sea en la casa o en el lugar de trabajo. Para el caso de China y Japón, estimaron un cargador privado por cada 1.5 vehículos eléctricos (datos basados en encuestas realizadas durante el estudio).

<sup>5</sup> Los cargadores lentos proporcionan una potencia inferior o igual a 22 kilovatios (kW) y los cargadores rápidos proporcionan una potencia superior a 22 kW.

### 2.3.1.1.2 Estaciones de recarga públicas

El número de estaciones de recarga públicas a nivel mundial ha llegado a 539,000 para 2018. Esto representa un 24% respecto a 2017. China que tiene el 45% del mercado de vehículos eléctricos, tiene el 45% de las 395,000 de estaciones de recarga lenta y el 78% de las estaciones de recarga rápida. Esto significa que sigue siendo el país con la mayor infraestructura de estaciones de recarga en el mundo.

A nivel mundial, en 2018, un tercio de las estaciones de recarga públicas son de carga rápida (>20kW). En China, cerca de la mitad de las estaciones de recarga instaladas fueron de carga rápida, mientras que, en Europa y Estados Unidos, la mayoría fueron de carga lenta.

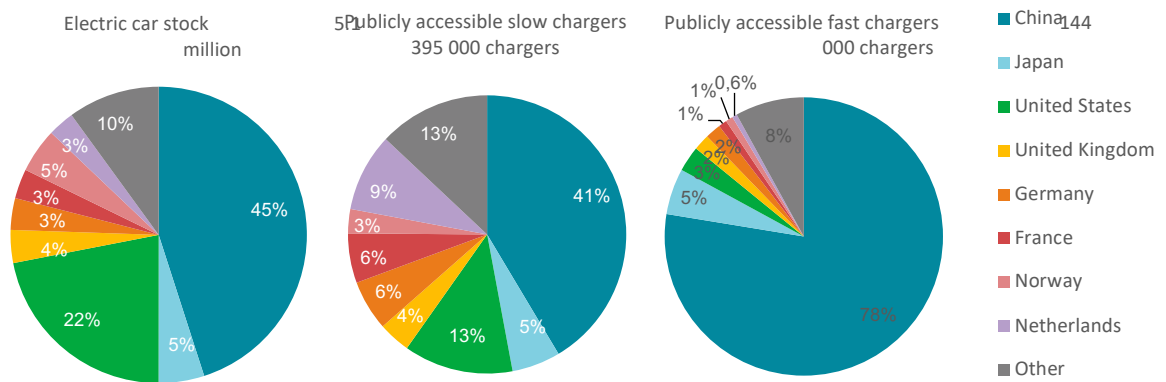


Figura 2-12. Inventario de vehículos eléctricos y cargadores de acceso público por país, 2018 (IEA, 2019)

De la Figura 2-12, se puede calcular una relación de 1 estación de recarga pública por cada 9 vehículos eléctricos. Este valor es mayor a 1 por cada 10 EVs, relación recomendada por la Directiva sobre infraestructuras de combustibles alternativos de la Unión Europea (EC, 2014).

La Figura 2-12 y la relación de EVSE/VE mostrada en la Figura 2-13, ayuda a identificar ciertos aspectos claves:

- China y Japón, son quienes tienen una mejor relación de EVSE de carga rápida respecto a EVs que los demás países, 1 EVSE por cada 17 EVs y 1 EVSE por cada 33 EVs respectivamente.
- Noruega es el país con mayor cuota de mercado en venta de vehículos eléctricos (40%) (IEA, 2018b), sin embargo, no cuenta con una infraestructura de estaciones de recarga robusta, pues cuenta con 1 EVSE por cada 20 EVs.
- Para 2017, la relación de EVSE/VE es de 0.14, lo que significa 1 EVSE por cada 7 EVs. Esto significa que ha disminuido la relación para 2018 a 1 EVSE por cada 9 EVs.

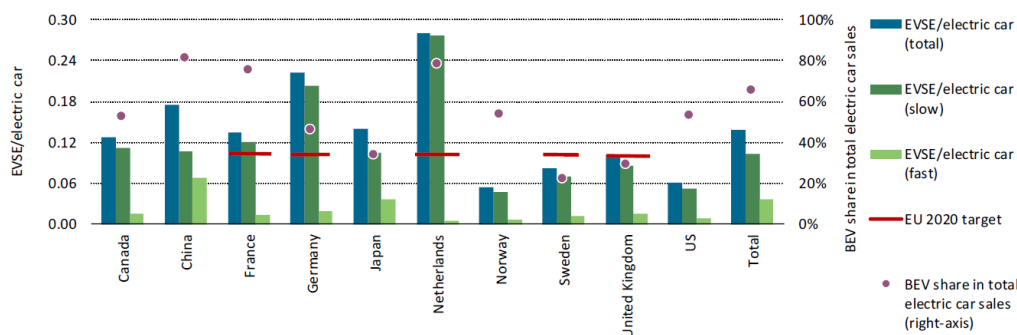


Figura 2-13. Relación entre salidas de carga de acceso público por coche eléctrico para determinados países, 2017. (IEA, 2018a)

Para 2020 en Europa, los análisis muestran que habrá suficiente cubrimiento de estaciones de recarga públicas (Transport & Environment, 2018). Más que falta de infraestructura, hay evidencia sólida de que no hay tanta disponibilidad de vehículos eléctricos, poco marketing de EVs<sup>6</sup> y vendedores que desalientan la compra de vehículos eléctricos<sup>7</sup>.

### 2.3.1.1.3 Estaciones de Carga Rápida

Actualmente, existe un despliegue grande en estaciones de carga rápida a nivel mundial. En la Figura 2-14 se puede ver el despliegue de estaciones de recarga rápida por tipo de cargador a nivel mundial.

El crecimiento de estas estaciones ha sido por políticas gubernamentales o un crecimiento orgánico por parte de empresas privadas interesadas en el negocio de vender energía para vehículos eléctricos.

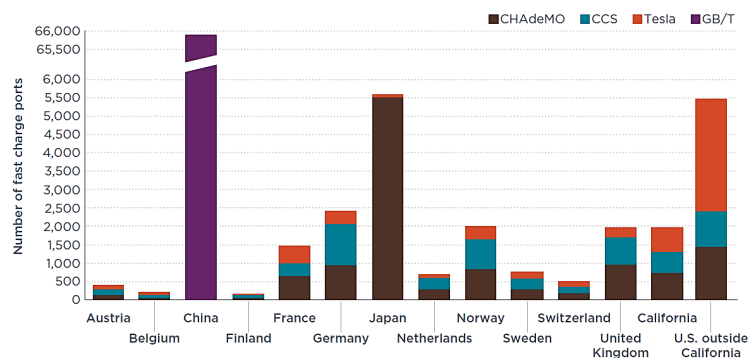


Figura 2-14. Número de puntos de carga rápida en los principales mercados de vehículos eléctricos por tipo de conector a partir del 1 de enero de 2018. (Nicholas & Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)

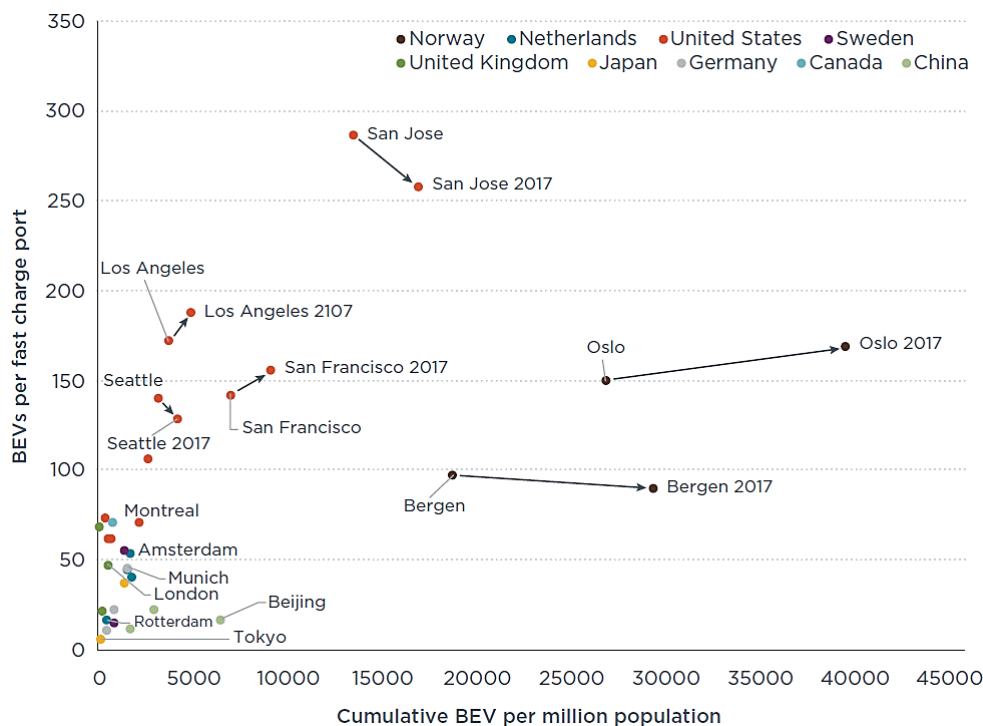
<sup>6</sup> <https://www.transportenvironment.org/publications/carmakers-still-failing-hit-their-own-goals-sales-electric-cars>

<sup>7</sup> <https://electrek.co/2018/05/21/electric-car-adoption-deceptive-car-dealerships-new-study/>

De la figura anterior, se puede ver que CHAdeMO tiene una gran cuota de mercado debido a que lleva más tiempo en el mercado internacional, sin embargo, la Unión Europea estandarizó el CCS Combo 2 para la carga rápida en noviembre de 2017 (Miles, 2019). También es de notar que, en Estados Unidos, fuera del estado de California, los conectores de Tesla tienen el 50% de los cargadores de carga rápida.

En la Figura 2-15 se representa la cantidad de puntos de carga rápida en algunas ciudades principales. Estas ciudades son quienes tienen el mayor porcentaje de mercado en nuevos vehículos eléctricos en ciudades de Europa, Asia y Estados Unidos.

Aunque aún es pequeño el crecimiento en la flota de vehículos eléctricos, estas ciudades representan muchos de los mercados líderes. La cantidad de EVs por punto de carga rápida se encuentra en el eje vertical, representando cuántos vehículos están respaldados por cargadores rápidos. La cantidad de EVs por millón de habitantes en el área se encuentra en el eje horizontal, y representa la penetración que tienen los EVs en esas ciudades. Los datos son de 2016, excepto donde indique otro año. La flecha indica la tendencia 2016-2017.



Nota: La flecha representa el desarrollo del mercado de EVs de 2016 a 2017 para algunas ciudades.

Figura 2-15. EVs por punto de carga rápida en función de la penetración en el mercado en mercados líderes seleccionados a fines de 2016 (excepto donde indique otra fecha) (Nicholas & Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)



Ahora al ver la Figura 2-15, se puede ver una gran dispersión en la cantidad de puntos de carga rápida en las diferentes ciudades. La cantidad de puntos de recarga por EVs puede estar dado por las condiciones y el contexto de la ciudad en cuanto a políticas para el despliegue de estos cargadores, por este motivo, no converge a un solo número.

### 2.3.1.2 Estados Unidos

Actualmente, los conductores de EVs en Estados Unidos tienen acceso a más de 26.000 estaciones de recarga públicas y privadas y a más de 78.000 tomas de recarga públicas y privadas, de las cuales, 23.000 estaciones de recarga y 69.000 tomas de recarga son públicas<sup>8</sup>. (U.S. Department of Energy, 2019). Y se espera que las ventas de EVSE para el año 2020 lleguen a 500.000<sup>9</sup>, dando soporte a la infraestructura necesaria para la creciente flota de EVs.

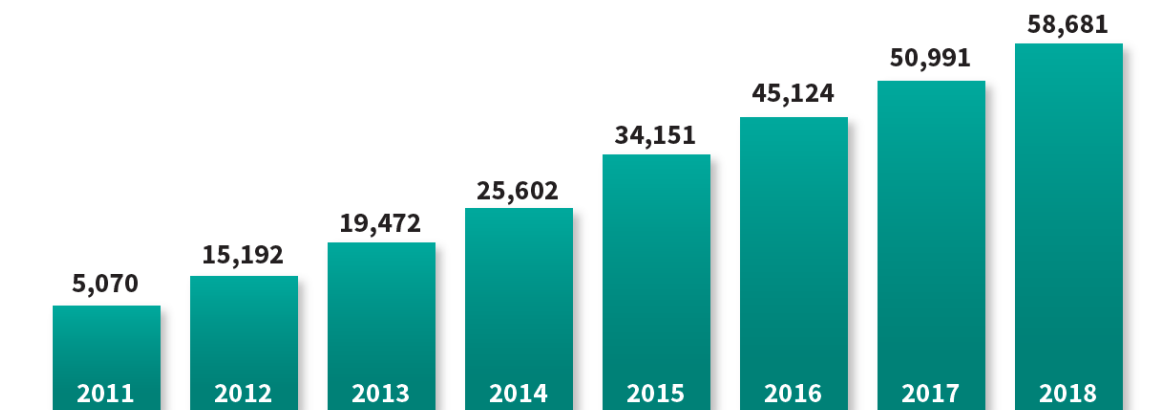


Figura 2-16. Crecimiento de Estaciones de Recarga en EE.UU. (EVCA, 2018)

A pesar del crecimiento en EVSE en todo EE.UU, para finales de 2017, 80 de las 100 más grandes ciudades de EE.UU cuentan con menos del 50% de estaciones de recarga que deben tener para 2025 (ICCT, 2019) y así cumplir con las expectativas de demanda de EVs para esas ciudades.

<sup>8</sup> Cálculos no toman en cuenta tomas y estaciones de recarga residenciales.

<sup>9</sup> ENERGY STAR, "Market and Industry Scoping Report: Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE).

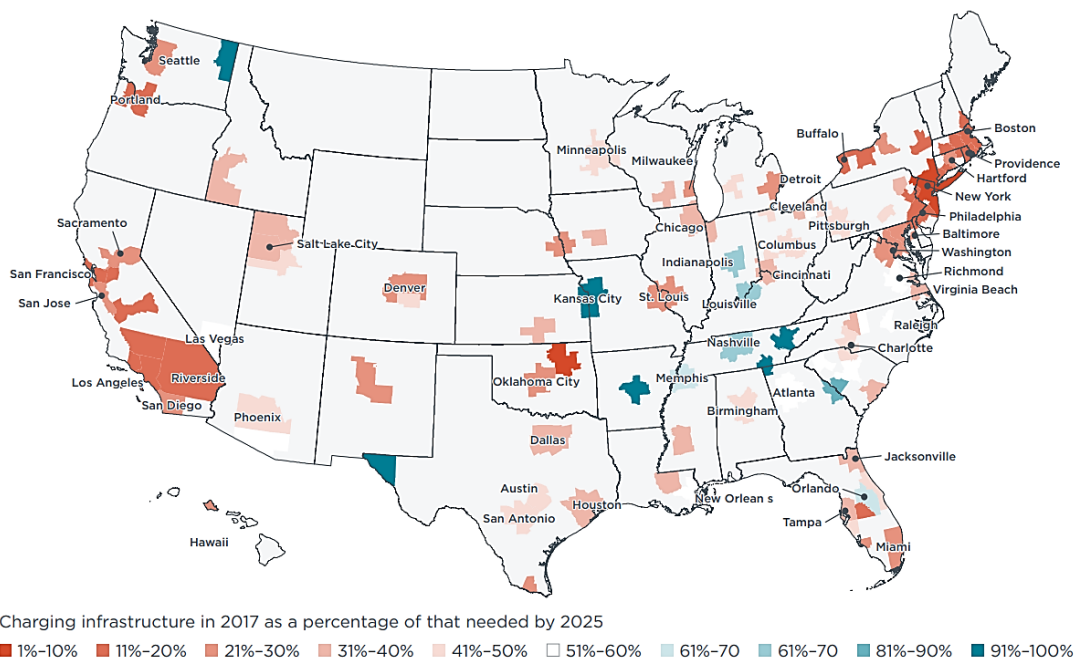


Figura 2-17. La infraestructura de carga en vigor en 2017 como porcentaje de la infraestructura necesaria para 2025 para apoyar el mercado de EVs por área metropolitana. (ICCT, 2019)

En general, EE.UU. tiene una relación de 1 EVSE por cada 17 EVs (IEA, 2018a), lo que significa que está por debajo de lo recomendado de 1 EVSE por cada 10 EVs.

### 2.3.1.3 Región Nórdica (Islandia, Noruega, Finlandia, Suecia)

La cantidad de tomas eléctricas usadas para suplir la necesidad de recarga de EVs en la región nórdica fue cercana a las 264.000 en 2017, de las cuales, cerca de 16.000 son de acceso público (IEA, 2018b). Y más del 94% de las tomas eléctricas usadas para la recarga de EVs están instaladas en los hogares o en lugares de trabajo.

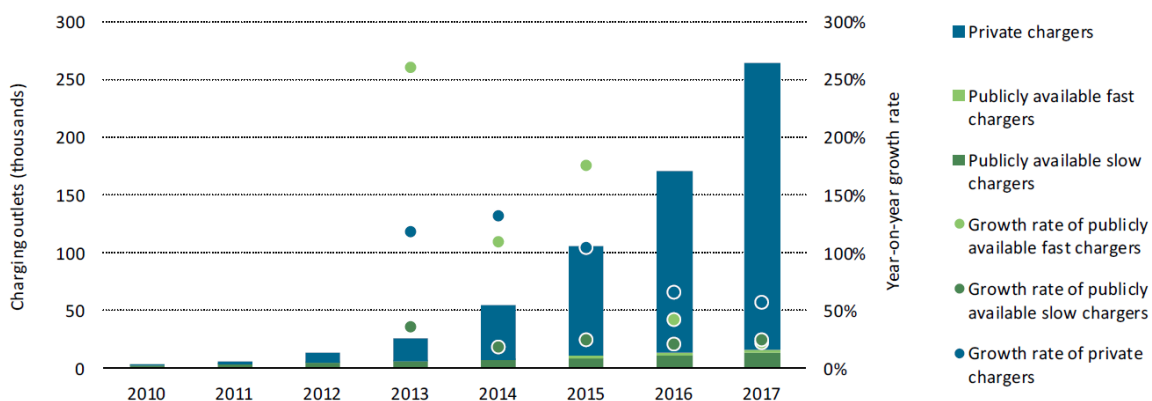


Figura 2-18. Número de EVSE en la región nórdica, 2010-17 (IEA, 2018b)

El porcentaje de crecimiento en la infraestructura de recarga ha ido disminuyendo a lo largo de los años, sin embargo, se mantiene en los dos dígitos. En los primeros años, el crecimiento en la red de EVSE creció a ritmos mayores al 100%, disminuyendo en 2016 y estando por debajo del 100%. Por primera vez, en 2017 el crecimiento de EVSE públicos de carga lenta superaron al crecimiento de EVSE públicos de carga rápida.

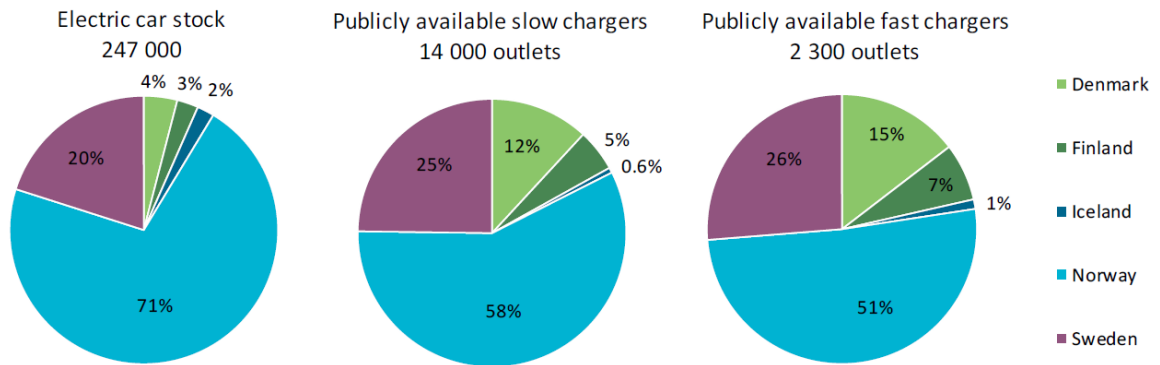


Figura 2-19. Stock de automóviles eléctricos y tomas EVSE disponibles al público, por tipo de cargador y país, 2017 (IEA, 2018b)

Noruega domina el despliegue de infraestructura de EVSE en la región, debido a la gran acogida de los EVs en el país, sin embargo, a pesar de contar con el mayor inventario de EVSE, también es uno de los países con una relación de EVSE por VE más bajo, con una relación de 0.05, es decir, 1 EVSE por cada 20 EVs, muy por debajo del objetivo de la Unión Europea que es de 0.10, o 1 EVSE por cada 10 EVs.

Al ver toda la región nórdica, no existe una correlación clara entre el número de EVSE públicas y el crecimiento en EVs. Ver Figura 2-20.

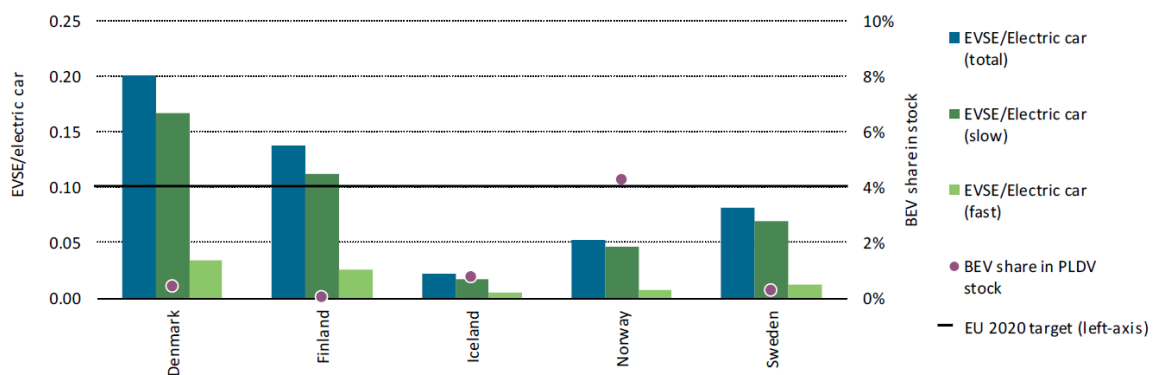


Figura 2-20. Relación de tomas EVSE de acceso público por EVs en la región nórdica, 2017 (IEA, 2018b)

El crecimiento en EVSE está dado en especial por las políticas e inversión por parte de los países en estas tecnologías y el papel que juegan las empresas privadas en el despliegue.

### 2.3.1.4 China

China es uno de los mercados más grandes del mundo en Vehículos Eléctricos, con el 45% del stock en EVs y el 78% del total de EVSE de carga rápida en el mundo. (IEA, 2019)

Para Enero de 2019, la Agencia China de Promoción de Infraestructura de Carga de Vehículos Eléctricos (EVCIPA por sus siglas en inglés) reportó 808.000 EVSE, de los cuales, 330,000 son públicos y 480,000 son EVSE en hogares. (COLUMBIA | SIPA, 2019)

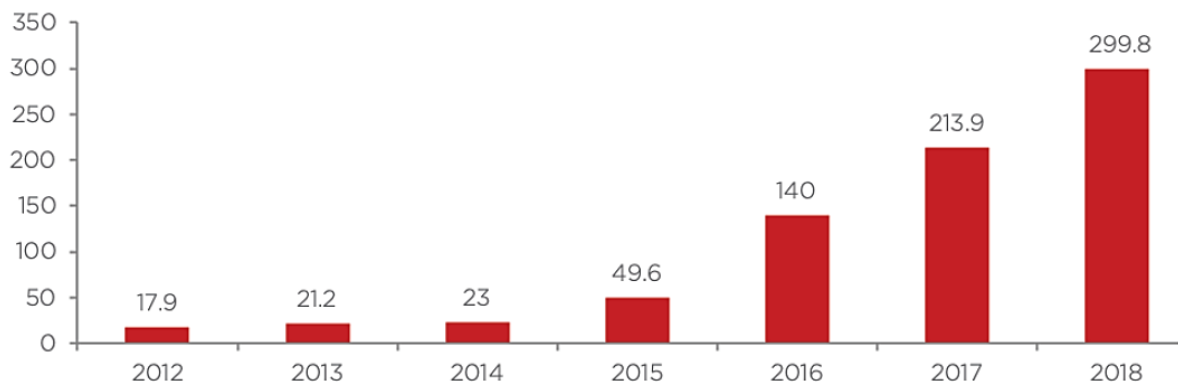


Figura 2-21. Número de EVSE de flota pública y dedicada de China, en miles. (COLUMBIA | SIPA, 2019)

El crecimiento en EVSE de carga rápida DC está en crecimiento de un 36% para finales de 2018. (COLUMBIA | SIPA, 2019). Y las proyecciones en EVSE serán determinadas por los objetivos del gobierno. En 2015, en su informe de NDRC's *Guidelines for Developing Electric Vehicle Charging Infrastructure (2015 – 2020)*, menciona que para 2020 deben tener 120.000 estaciones de recarga y 4.8 millones de puntos de recarga.

El plan de despliegue de EVSE están conglomeradas en la región con altos niveles de polución, sobre el este de China, donde se encuentran las grandes ciudades con Shanghái, Beijing, Guangzhou y más, donde se espera un despliegue de 2.5 millones de EVSE, más del 50% de las estaciones.

## 2.3.2 Vehículos pequeños para transporte público

### 2.3.2.1 Motos (2/3 ruedas)

El mercado de motos eléctricas de 2 y 3 ruedas está liderado a nivel mundial por China, que produce 26 millones en 2018 y tiene un estimado de 250 millones de motos eléctricas en circulación (IEA, 2018a).

En China, dos tercios de las motos en circulación están limitadas, pero con suficiente desempeño: Baterías de 0.5 – 0.8 kWh con 50 km de autonomía a bajas velocidades (25 km como velocidad máxima). (IEA, 2019). Estas características permiten que sean viables en su uso urbano, especialmente en urbes densamente pobladas y permiten tener costos bajos. En China, estos vehículos están exceptos de registrarse y pueden circular en ciclovías.

### **2.3.2.2 Scooter Eléctrico**

El scooter eléctrico ha tenido gran acogida en los últimos años, y ahora se encuentran en las grandes ciudades del mundo, ofreciendo otro sistema de micro movilidad.

En París, ocho compañías estaban operando Scooter eléctricos a inicios de 2019, sólo 6 meses después del primer scooter desplegado en la ciudad por Lime en junio de 2018 (Landais Barrau, 2019). Estos esquemas ahora existen en alrededor de 129 ciudades en Estados Unidos, 30 en Europa, 7 en Asia y 6 en Australia y Nueva Zelanda.

El éxito del Scooter eléctrico se debe probablemente al hecho de que este modo de micro movilidad permite el desplazamiento del desafío del “último kilómetro”. El último kilómetro representa un viaje que es muy largo para realizarlo a pie, pero muy corto para realizarlo en un vehículo o bus. En San Francisco, los clientes de la compañía BIRD reportan que el promedio de viaje es de 2.5 km, distancia mayor al promedio caminado (cerca de 1.5 km) y menor que la distancia promedio recorrida en automóvil (3.7 km) (Kaufman, 2018).

### **2.3.2.3 Infraestructura de Estaciones de Recarga para Micro Movilidad**

En micro movilidad no es necesaria una infraestructura especial para la recarga de estos equipos, debido a que la mayoría son cargados en casa. Los vehículos personales normalmente se recargan en casa o en el trabajo con los tomacorrientes convencionales, algunos por medio de extensiones.

Debido a sus pequeñas baterías, las empresas de Scooter Eléctricas tienen diferentes enfoques para la recarga de éstos. Por ejemplo, algunas empresas pagan a los usuarios por recoger los scooters con baja batería para recargarlas en casa, todo coordinado a través de la app (Runnerstrom, 2018).

## **2.3.3 Buses**

### **2.3.3.1 Estado Actual de Buses Eléctricos en el Mundo**

El mercado de buses eléctricos ha aumentado en un 25% en 2018, respecto a 2017, alcanzando una flota de 460,000 de buses eléctricos, de los cuales, el 99% se encuentran en China.

Fuera de China, más de 1,000 buses eléctricos fueron registrados en 2018, la mayoría en Europa con un total de 562 buses eléctricos registrados (Sustainable Bus, 2019). Latinoamérica recibió su primera flota de 200 buses eléctricos en Chile, y 40 en Ecuador. También existen más de 300 buses eléctricos en Estados Unidos (Reuters, 2017).

### 2.3.3.2 Infraestructura de Estaciones de Recarga

La infraestructura de EVSE dedicado a buses eléctricos alcanzó un estimado de 157,000 cargadores en 2018. La mayoría de estos se encuentran en China con 153,000, donde este número incrementó en un 25% respecto a 2017 (IEA, 2019). Los cargadores para buses en Europa alcanzaron 3,000 unidades para 2018. Esto representa una gran diferencia entre China y Europa en cuanto a infraestructura de recarga exclusiva para buses.

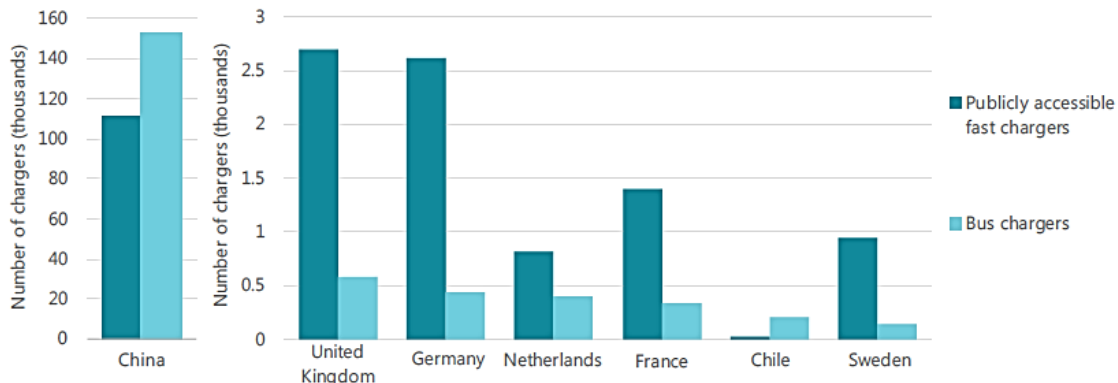


Figura 2-22. Cargadores de bus dedicados y cargadores rápidos de acceso público por país, 2018 (IEA, 2019)

Notas: En China, Shenzhen tiene aproximadamente 1 cargador por cada 3 buses (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018). En otras regiones, la ratio está cerca a ser 1 cargador por bus.

En sólo la región de Shenzhen, para finales de 2017, anunció que los 16,359 buses, se habían pasado a eléctricos, siendo la primera flota de buses de transporte público en ser 100% eléctrico. Esta flota es más grande que las flotas de buses de Nueva York, Chicago, Los Ángeles, Nueva Jersey y Toronto combinadas. (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018)

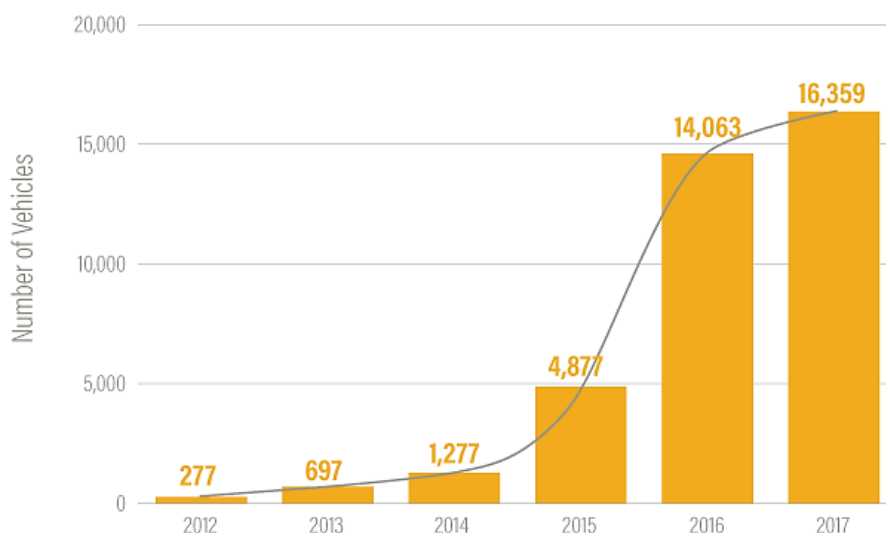


Figura 2-23. Despliegue de buses eléctricos en Shenzhen, China. (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018)

Parte del éxito de Shenzhen es debido a sus políticas, donde subsidió la compra de los vehículos, que pueden llegar a tener un costo de 2 a 4 veces más que uno equivalente de Diesel (Lu Lu, Xue, & Zhou, 2018). Además, entre sus acciones para tener una flota de buses 100% eléctricos, se encuentra el leasing de los buses a los fabricantes, de manera que los operadores de bus no tengan que realizar una gran inversión inicial. Otro de los factores, es que su mantenimiento es más económico que un bus de diésel, por lo que al final de la vida útil, los costos de operación y mantenimiento son muy similares a pesar del gran costo inicial.

Tabla 2-9. Régimen de carga para operaciones de buses de transporte público en diferentes ciudades del mundo.

Ciudad	No. De Vehículos	Fabricante	Régimen de Carga
Santiago de Chile, Chile	100	BYD	Carga nocturna en patios con 100 cargadores.
Santiago de Chile, Chile	100	Yutong	Carga en terminal.
Indore, India	40	Tata Motor Limited	2 cargadores sobre la ruta.
Kolkata, India	40	Tata Motor Limited	40 cargadores.
Leiden, Holanda	23	Volvo	Carga en terminal.
Nottingham	45	Optare	Carga en terminal y patios.
Paris	23	Bluebus	Carga nocturna en patios.

Ciudad	No. De Vehículos	Fabricante	Régimen de Carga
Aeropuerto Schiphol, Holanda	100	VDL	Carga en terminal (450 kW) y carga nocturna en patios (30 kW)
Shenzhen, China	>16.000	BYD, Nanjing, Golden Dragon	La mayoría con recarga nocturna en patio.

Fuente (IEA, 2019)

En la mayoría de las ciudades donde se ha desplegado flotas de buses eléctricos, la tendencia es a cargarlos en los patios durante la noche, debido a los tamaños de las baterías que requieren de varias horas para ser cargados con una estación de carga rápida. Algunas ciudades tienen sistema de recarga rápida durante el recorrido o en las paradas finales, con EVSE de carga rápida.

### 2.3.4 Camiones de carga

#### 2.3.4.1 Estado Actual de Camiones de Carga Eléctricos en el Mundo

El mercado para camiones de carga es pequeño comparado con el mercado en otros tipos de vehículos eléctricos. Se estima que se vendieron entre 1,000 y 2,000 unidades en 2018 en China, donde el stock de estos vehículos apenas supera las 5,000 unidades.

En Europa, están realizando pruebas comerciales los mayores fabricantes con algunos operadores. Estos incluyen 50 camiones eléctricos de MAN, DAF, Mercedes y Volvo.

El interés de los camiones eléctricos está puesto en los camiones urbanos, debido a sus cortos recorridos, la fácil optimización de paradas en ruta para recargar, haciendo que los camiones parezcan más buses que camiones de carga. Los viajes urbanos tienen menores distancias que los viajes interurbanos, especialmente, donde no existe una infraestructura robusta para recargar sobre la vía.

La disminución de los costos de la tecnología está haciendo que los camiones con cero emisiones sean cada vez más competitivos con los vehículos diésel convencionales. Aunque los camiones con cero emisiones son más caros en el corto plazo que sus equivalentes de diésel, los camiones eléctricos serán menos costosos que su equivalente en diésel en el período de tiempo 2025–2030, debido a la disminución de los costos de las baterías y los motores eléctricos, así como al incremento en los costos de los camiones diésel debido al cumplimiento de las normas de emisión (Hall & Lutsey, 2019).



Tesla por su parte, en 2017 anunció el Tesla Semi, un camión de carga mediana y pesada para uso urbano y uso interurbano. Está previsto que entre en producción a finales de 2020 y se encuentra ya aceptando reservas (SoyMotor, 2019).

#### **2.3.4.2 Infraestructura de Estaciones de Recarga**

Con baterías de 300 kWh para los camiones de carga mediana y hasta 900 kWh para los camiones de carga pesada, los camiones de carga requieren de una infraestructura más grande y robusta que la de vehículos de pasajeros para poder recargar las baterías en un tiempo que es compatible con sus tiempos de operación comercial.

Recargar un camión de carga mediana con una batería de 300 kWh puede tardar hasta 6 horas con una EVSE de carga rápida en DC de 50 kW, por lo que los camiones eléctricos existentes, se recargan en patios privados y no en la red de EVSE existente.

Los camiones de carga pesada y otros tipos de camiones con rangos de distancias de manejo altos requieren mayor potencia que los cargadores en DC existentes actualmente (<200 kW) y requieren ser instalados a lo largo de las rutas transitadas. Por ejemplo, el Tesla Semi, tendrá una autonomía de 965 km y una batería estimada de 1,000 kWh. Tesla anunció un despliegue de estaciones de mega cargadores que pueden dar suficiente energía para una autonomía de 640 km en 30 minutos, lo que significa que la capacidad de estos cargadores sobrepasará 1 MW (Alvarez, 2018).

#### **2.3.5 Estaciones de carga en vías nacionales**

En carretera, es necesario tener una infraestructura de estaciones de carga rápida para poder satisfacer la demanda de energía por parte de los viajeros de largas distancias entre ciudades o pueblos.

Actualmente, la falta de disponibilidad de puntos de carga rápida sobre las vías nacionales restringe a los usuarios en el uso de EVs para realizar viajes de larga distancia y se limita únicamente a su uso urbano.

Dada la importancia y relevancia para incentivar el uso de EVs en distancias largas, los mercados grandes como China, Europa y Estados Unidos han aumentado sus esfuerzos para instalar puntos de carga rápida sobre las vías nacionales.

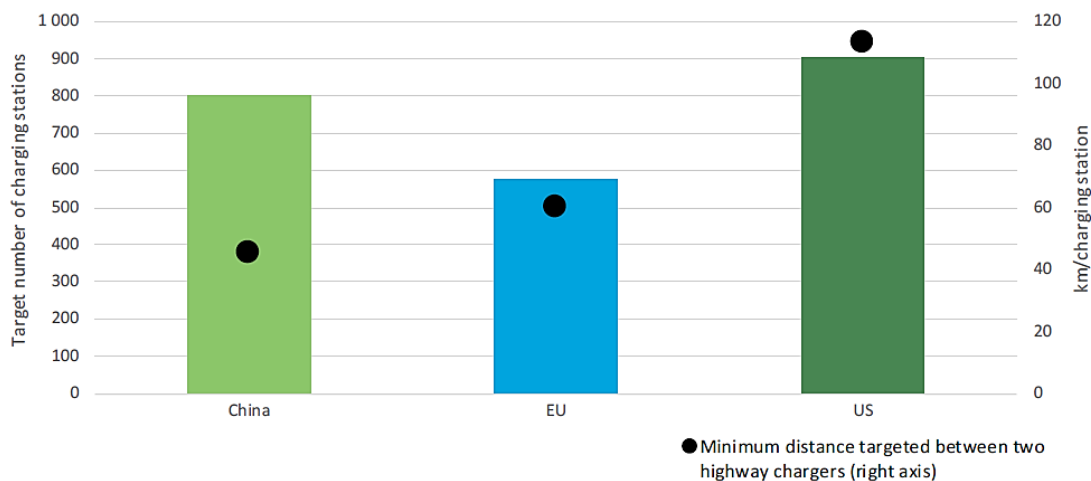


Figura 2-24. Número de estaciones de carga en carretera y objetivos de distribución en regiones seleccionadas para 2018. (IEA, 2018a)

Uno de los puntos clave de la Figura 2-24 es que la distancia entre estaciones de carga está entre 45 km y 115 km. Siendo China quien tiene la distancia más corta entre estaciones, con 45 km.

De acuerdo por un estudio realizado en 2014 para determinar la distancia mínima entre EVSE en las vías de España, determina que entre 61.5 km y 67.65 km es la distancia óptima (Colmenar, de Palacio, Borge-Díaz, & Monzón-Alejandro, 2014) teniendo en cuenta la autonomía de los vehículos y algunas consideraciones adicionales como el clima, el tipo de manejo, la velocidad promedio, entre otros factores.

En diferentes ciudades del mundo están realizando pruebas piloto de estaciones de carga rápida en sus principales vías nacionales. Por ejemplo, en Japón, CHAdeMO instaló 2 estaciones de carga rápida entre las ciudades de Tokio y Nagoya, con una distancia entre ciudades de 350 km y una distancia de 116 km entre estaciones y sólo el 19% de los conductores de EVs usaron el trayecto. Después instalaron 4 estaciones de carga rápida adicionales, para un total de 6, con una distancia promedio entre EVSE de 50 km y el 46% de los conductores de EVs empezaron a usar la vía (CHAdeMO, 2019).

Electrify America planea instalar estaciones de carga rápida en las vías con mayor tráfico en 39 estados con una distancia promedio de 70 millas (112 km) y máximo 120 millas (192 km) entre estaciones (Electrify America, 2019).

En 2011, se instalaron 13 estaciones de carga rápida (CHAdeMO, 2019) en un corredor entre Hamburgo y Dortmund, Alemania. La distancia total entre las dos ciudades es de 352 km, es decir que la distancia promedio entre estaciones de carga rápida es de 25 km.

### 2.3.6 Políticas para incentivar el despliegue de EVSE

En varios países se han establecido políticas en 2018 y 2019 para apoyar el despliegue y crecimiento de los EVs y el desarrollo de la infraestructura de recarga. Estas políticas tendrán un impacto en el mercado de EVs. Algunas regiones tienen planes tanto para el crecimiento de EVs, como el despliegue en la infraestructura de recarga.

A continuación, se presenta una tabla donde se resumen las políticas en diferentes regiones del mundo.

Tabla 2-10. Actualización de las políticas de implementación de EVs en regiones seleccionadas, 2018/19

		Canadá	China	Unión Europea	India	Japón	Estados Unidos
Regulaciones (Vehículos)	Mandato en EVs	X*	X				X*
	Normas en Economía de Combustible	X	X	X	X	X	X
Incentivos (Vehículos)	Incentivos fiscales	X	X	X	X		X
Políticas Industriales	Subsidios	X	X			X	
Regulaciones (Cargadores)	Normas en Hardware	X	X	X	X	X	X
	Regulaciones en construcciones	X*	X*	X	X		X*
Incentivos (Cargadores)	Incentivos fiscales	X	X	X		X	X*

\* Indica que es sólo a nivel estatal o local.


\*\* Todos los países o regiones de la tabla han desarrollado normas para las estaciones o puntos de recarga (EVSE).

Notas: Regulaciones en construcciones significa que existe la obligación de instalar cargadores en construcciones nuevas o renovadas. Los incentivos a los cargadores incluyen inversión directa e incentivos a la compra para cargadores públicos y privados. Fuente (IEA, 2019)

### 2.3.6.1 Canadá

Las políticas claves que esperan hacer la transición a movilidad eléctrica en Canadá se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2-11. Resumen de políticas para EVs en Canadá para 2018/2019.

Country	Policy type	Description
<b>Canada</b> 	<b>Incentive (vehicles)</b>	Purchase incentive for ZEV available to individuals and businesses.
	<b>Targets (vehicles)</b>	Federal government aims for ZEVs to be 10% of new passenger light-duty vehicle sales by 2025, 30% by 2030 and 100% by 2040.
	<b>Industrial policy</b>	Incentives to OEMs for providing ZEVs on the Canadian car market.
	<b>Incentives (chargers)</b>	Incentives to support EVSE deployment.
	<b>Target (chargers)</b>	900 new fast chargers.

Fuente (IEA, 2019)


Canadá tiene varios incentivos para aumentar el despliegue de EVs y de EVSE, entre ellos se encuentran:

- Un presupuesto de 120 millones de dólares canadienses para apoyar el despliegue de costa a costa de puntos de carga rápida (junto a estaciones de gas e hidrógeno en los centros de las ciudades más grandes), desarrollo de códigos y normas alineadas con Estados Unidos, además de invertir en I+D para el desarrollo de la nueva generación de cargadores.
- Un presupuesto de 300 millones de dólares canadienses en el transcurso de 3 años para crear un incentivo federal en la compra de vehículos con cero emisiones de hasta 5.000 dólares canadienses.
- Un presupuesto de 130 millones de dólares canadienses en el transcurso de 5 años para el despliegue de nuevos cargadores (y estaciones de recarga de hidrógeno).
- Distribuir parte de los 800 millones de dólares canadienses de presupuesto de innovación estratégica para estimular la manufactura de vehículos con cero emisiones (ZEV) en Canadá.

### 2.3.6.2 China

China ha sido el líder en despliegue de vehículos con cero emisiones y puntos de recarga en los últimos años. Las políticas claves que se espera que ayuden a la transición a movilidad eléctrica en China se muestran a continuación:

Tabla 2-12. Resumen de políticas para EVs y EVSE en China para 2018/2019.

Country	Policy type	Description
<b>China</b> 	<b>Regulations</b> (vehicles)	Proposal to tighten average fuel economy for PLDV fleet in 2025. From January 2019, investments in new ICE production plants are prohibited. Voluntary standard for BEV fuel economy.
	<b>Incentive</b> (vehicles)	Gradual reduction of the subsidies available to the electric car industry.
	<b>Industrial policy</b>	New energy vehicle (NEV) credit mandate requires OEMs to produce a minimum share of NEV cars.
	<b>Incentive</b> (chargers)	Local incentives for private home charging and public charging.
	<b>Target</b> (chargers)	Around 150 000 public chargers by 2020.

Fuente (IEA, 2019)


El despliegue de EVs y EVSE es debido a las políticas chinas, estas se resumen así (COLUMBIA | SIPA, 2019):

- En septiembre de 2015, el Consejo de Estado emitió la *Guía sobre la aceleración de la construcción de infraestructura de carga de vehículos eléctricos*. La guía llama a tener una infraestructura de recarga suficiente para 5 millones de EVs para 2020, todas las construcciones residenciales nuevas, deben venir equipadas con puntos de carga, el 10% de los parqueaderos en edificios públicos deben estar disponibles para carga de EVs y al menos 1 EVSE por cada 2.000 EVs.
- En octubre de 2015, emitieron una guía para el desarrollo de infraestructura de cargadores de EVs para 2015-2020. En esta guía, piden 120.000 estaciones de carga y 4.8 millones de puntos de carga para 2020. La guía divide China en 3 grandes regiones con diferentes grados de infraestructura.
- Tienen un presupuesto de 90 millones de yuanes (12.7 millones de dólares) para financiar la instalación de infraestructura de estaciones de recarga, especificando el número mínimo de puntos de recarga por estación.
- El gobierno chino, quiere disminuir los subsidios gradualmente para la compra de EVs, para poder invertir ese dinero en el desarrollo de infraestructura de recarga.

### 2.3.6.3 Unión Europea

Las políticas claves que esperan hacer la transición a movilidad eléctrica en la Unión Europea se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2-13. Resumen de políticas para EVs y EVSE en UE para 2018/2019.

Country	Policy type	Description
<b>European Union</b> 	<b>Regulations</b> (vehicles)	Tightened CO <sub>2</sub> emissions standards for LDVs in 2025 and 2030 with credits for EV sales, following the 95 g CO <sub>2</sub> /km (NEDC) requirement for 2021. CO <sub>2</sub> emissions standards for trucks in 2025 and 2030. Clean Vehicle Directive mandates public procurement for clean LDVs and HDVs. Increasing number of member states announcing ICE and diesel bans.
	<b>Incentive</b> (vehicles)	Incentives schemes for zero- and low-emission PLDVs in 33 European countries.
	<b>Industrial policy</b>	European Battery Alliance to promote the development of a battery industry in Europe.
	<b>Regulation</b> (chargers)	Energy Performance of Buildings Directive approved in the EU mandates EV chargers for new and renovated buildings.
	<b>Targets</b> (chargers)	Through the AFI Directive, EU member states have set EVSE deployment targets for 2020, 2025 and 2030.

Fuente (IEA, 2019)

La Unión Europea tiene diferentes políticas, donde endurece los estándares de emisión de CO<sub>2</sub> en vehículos de combustión interna o ha establecido objetivos para el despliegue de EVSE.


La Unión Europea ha determinado un requerimiento a los países miembros para que establezcan los objetivos de cargadores de acceso público para 2020 (obligatorio), 2025 y 2030 como parte de sus marcos de política nacional (EC, 2014).

Para las construcciones no residenciales nuevas o renovadas, la Directiva De Edificios De Eficiencia Energética (EPBD) determinó que al menos una quinta parte de los parqueaderos deben venir equipados con las acometidas para la instalación de cargadores. Para el caso de edificios residenciales nuevos o renovados con más de diez (10) parqueaderos, todos éstos deben estar preparados con su respectiva acometida para futuras instalaciones. (EC, 2018)

Algunos de los países miembro de la UE, establecieron fechas para prohibir la venta de vehículos de combustión interna y vehículos diésel, como por ejemplo el Reino Unido o Francia, que establecieron que para 2040 se prohibirá venta de este tipo de vehículos (IEA, 2019).

### 2.3.6.4 Japón

Tabla 2-14. Resumen de políticas para EVs y EVSE en Japón para 2018/2019.

Country	Policy type	Description
Japan 	<b>Regulations</b> (vehicles)	Fuel economy standards for HDVs in 2025. Fuel economy standards for LDVs in 2020 and 2030.
	<b>Incentives</b> (vehicles)	Tax incentives and/or exemptions for the acquisition of HEVs, PHEVs, BEVs and FCEVs.
	<b>Targets</b> (vehicles)	15-20% EV sales in PLDVs by 2020 and 20-30% by 2030.
	<b>Industrial policy</b>	Reduction of 80% of GHG emissions per vehicle produced by Japanese automakers by 2050.
	<b>Incentives</b> (chargers)	Available for charger deployment.
	<b>Targets</b> (chargers)	Targets for public chargers in cities and along highways.

Fuente (IEA, 2019)

Japón ha determinado nuevos estándares en consumo de combustible para vehículos que funcionan con diésel, incluyendo buses y camiones (Gobierno de Japón, 2019a)<sup>10</sup>. La regulación tiene relevancia para la movilidad eléctrica debido a su capacidad de mejorar la eficiencia, pero no tiene puntos específicos para EVs.

También ha implementado una política para nuevos estándares en consumo de combustible para vehículos livianos, alineado con sus objetivos para 2030. Ha actualizado su objetivo a 25.4 km/L (3.9 L/100 km), lo que representa un 32.4% de mejora respecto a los resultados de 2016 (Gobierno de Japón, 2019b).


Japón también tiene incentivos para la compra de vehículos híbridos y eléctricos, donde quedan exentos de impuestos como parte de su esquema de subsidios.

En Japón ha invertido para el despliegue de puntos de carga, cerca de 100.5 billones de yenes (1 billón de dólares) en la última década (Marchetti, 2013).

<sup>10</sup> Estas regulaciones aplican para vehículos con un peso total de más de 3.5 ton.

### 2.3.6.5 Estados Unidos

Tabla 2-15. Resumen de políticas para EVs y EVSE en Estados Unidos para 2018/2019.

Countries	Policy type	Description
<b>United States of America</b> 	<b>Regulations</b> (vehicles)	The federal government has proposed to freeze GHG emission standards for LDVs from 2022 to 2025. Twenty US states have signalled willingness to adhere to the previously declared update of corporate average fuel economy (CAFE) standards. ZEV mandate in ten states.
	<b>Target</b> (vehicles)	California aims to have 5 million EVs on the road by 2030.
	<b>Industrial policy</b>	US Department of Energy's Vehicle Technologies Office supports the development of battery and electric drive systems.
	<b>Incentives</b> (chargers)	Incentives to deploy charging infrastructure are provided in more than half of US states.

Fuente (IEA, 2019)

En abril de 2018, la Agencia de Protección Ambiental de US (US EPA) anunció una revisión a los estándares en emisiones de gases de efecto invernadero para los vehículos livianos vendidos en Estados Unidos entre el 2022 y 2025 (IEA, 2018a).

Algunos estados han establecido políticas de uso de vehículos con cero emisiones o incentivos para el cambio a vehículos limpios.

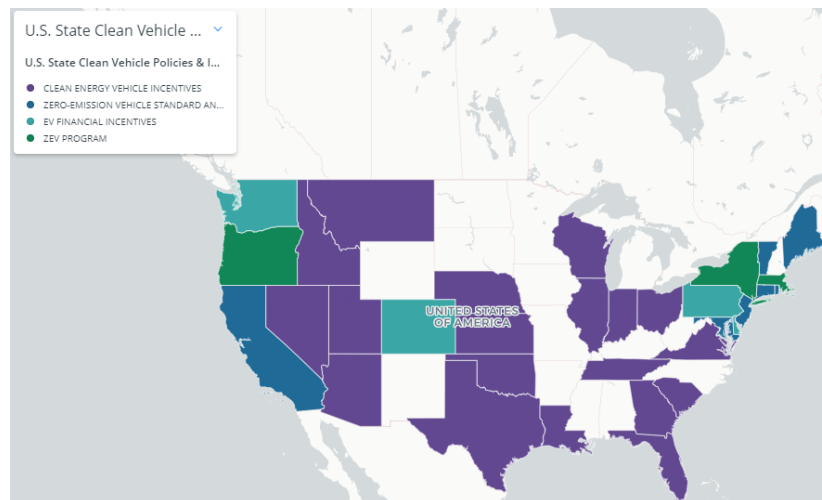


Figura 2-25. Estados con políticas e incentivos para vehículos con energías alternativas. (C2ES, 2019)

Estados Unidos es uno de los países que ha incrementado su ambición en instalar puntos de carga rápida en las vías nacionales (IEA, 2018a). California espera invertir 900 millones de dólares para instalar 250.000 puntos de carga para 2025, de los cuales, 10.000 serán de carga rápida DC (Electrify America, 2019).



### **3 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA REQUERIDA EN TRES GRANDES CIUDADES DEL PAÍS Y TRES CASOS DE USO PARA CIUDADES INTERMEDIAS POR NÚMERO DE HABITANTES (200.000, 450.000 Y 700.000), EN FUNCIÓN DE LA PENETRACIÓN ESPERADA POR TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, MODOS DE TRANSPORTE Y ÁREAS DE LAS CIUDADES.**

#### **3.1 SELECCIÓN DE CIUDADES**

A efectos de seleccionar las 6 ciudades para el análisis de infraestructura requerida, el equipo consultor propone 5 criterios asociados a la necesidad de instalación de sistemas de recarga y a las políticas públicas que permitan maximizar el éxito de un eventual plan piloto. Se consideraron:

- i) Ciudades intermedias con el número de habitantes solicitado en los términos de referencia del contrato (200,000 – 450,000 – 700,000)
- ii) Ciudades que cuenten con políticas y objetivos que favorezcan la implementación y adquisición de vehículos eléctricos;
- iii) Las modificaciones en los planes de movilidad y de ordenamiento territorial como incentivo a la movilidad eléctrica;
- iv) El crecimiento del parque de vehículos eléctricos y la implementación de estaciones de carga; y
- v) Los avances en el nivel de integración con los demás actores clave del mercado de vehículos eléctricos (en este caso empresas de suministro de energía, fabricantes de infraestructura de carga y vehículos eléctricos).

A partir de los anteriores criterios, se hizo un análisis de las 6 principales grandes ciudades (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Santa Marta) y de 10 ciudades intermedias (Ibagué, Pereira, Manizales, Pasto, Armenia, Tunja, Villavicencio, Montería, Sincelejo, Valledupar) para las cuales se hizo una revisión de los parámetros mencionados, concluyendo que las ciudades cumplen mejor con los 5 criterios definidos son Bogotá, Medellín y Cali como las grandes ciudades e Ibagué, Pereira y Tunja como ciudades intermedias. Adicionalmente se tuvo en cuenta la posibilidad de desarrollar el análisis de infraestructura requerida en vías intermunicipales que conectan estas 6 ciudades, que pudiera además generar una red de recarga para desplazamientos entre estas ciudades.

A continuación, se enuncian los criterios principales que fueron tenidos en cuenta:

#### **Bogotá:**

- La ciudad se encuentra realizando modificaciones al Plan de Ordenamiento Territorial vigente (2004) con el objetivo de darle mayor prioridad a la movilidad eléctrica. Es así como se plantea dentro del POT una sección de “Áreas complementarias de los usos del suelo urbano y de expansión urbana” la cual a través de 4 artículos (Artículos 361, 362, 363 y 364) establecen los lineamientos

para la implementación de electrolinerías, infraestructura de recarga para vehículos eléctricos y las condiciones en común con las zonas de estacionamiento.

- Actualmente se está llevando a cabo un proceso de licitación para la provisión y operación de 594 buses eléctricos para el Sistema Integrado de Transporte Público, lo cual representaría cerca del 10% de la flota actual del SITP. Este proceso ha logrado que se modifiquen los contratos de licitación pública para favorecer la implementación los buses eléctricos, dentro de estos se encuentran: i) la mayor duración de los contratos (15 años) en consideración a la vida útil de estos buses; ii) Precio diferenciado entre tecnologías, donde la retribución al eléctrico refleja los mayores costos de inversión; iii) Desarrollo de la infraestructura de recarga (incluyendo los patios) a cargo de la ciudad. IV) Definición de una estructura de riesgos compartida entre el público y el privado.
- Hay una importante participación de la empresa distribuidora Enel-Codensa, la cual ha suscrito un contrato con Transmilenio S.A. para proveer los puntos de recarga urbano y ejercer la función de proveedor de infraestructura de recarga para los buses eléctricos que serán adjudicados por el distrito.
- Actualmente en Bogotá (a 24 de octubre de 2019), de acuerdo con Electromaps, existen 16 estaciones de carga con 39 conectores de diferentes tipos, de los cuales, 21 son de nivel 2, que se divide en 10 de Type 1 (SAE J1772) y 11 de Type 2 (Mennekes) y 1 punto CHAdeMO (Nivel 3). (Electromaps, 2019a)

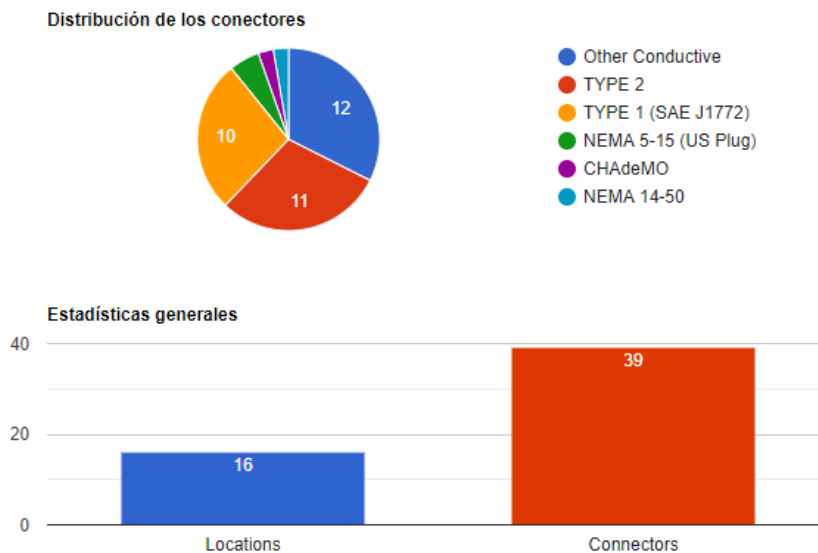


Figura 3-1. Cantidad de Cargadores y Distribución de Tipos de Conectores para Bogotá a 2019. (Electromaps, 2019a)

- Bogotá cuenta con un programa piloto de taxis eléctricos de BYD establecido en 2013, con 43 taxis. (Revista Semana, 2018)

## Medellín

- La ciudad anunció su objetivo de ser la capital de movilidad eléctrica del país, lo cual se ha visto reflejado en los múltiples programas piloto que ha incentivado la compra de taxis eléctricos, donde el municipio dio un subsidio de 18 millones de pesos para la compra de estos vehículos y abrió hasta 200 cupos que podrán ser remplazados por esta tecnología. (Ramírez, 2019)
- El Municipio de Medellín, a través de Metroplús, realizó la compra de 64 buses eléctricos que serán operados por la Empresa Metro. Este proceso se llevó a cabo después de varios años de estudios y pruebas piloto de esta tecnología en conjunto con la academia (donde se destacan los trabajos adelantados por Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad Nacional sede Medellín) y Empresas Públicas de Medellín (EPM).
- Se estableció el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (PIGECA), el cual desarrolla una estrategia de movilidad sostenible del área metropolitana de Medellín. A través del PIGECA se han logrado importantes avances que se concentran en el fortalecimiento y modernización al Transporte Público Colectivo (TPC). Con este programa se ha logrado que el 71% de la flota use combustibles considerados como limpios bajo la regulación actual (Euro VI) lo cual será clave en caso de la electrificación del TPC en el Valle de Aburrá.
- De acuerdo con Electromaps, a 24 de octubre de 2019, Medellín cuenta con 5 estaciones de carga con 19 conectores de diferentes tipos, de los cuales, 8 son de nivel 2, que se divide en 2 de Type 1 (SAE J1772), 4 de Type 2 (Mennekes) y 4 estaciones de carga rápida, divididas en 2 CCS 2 y 2 puntos de CHAdeMO (Nivel 3) (Electromaps, 2019b).

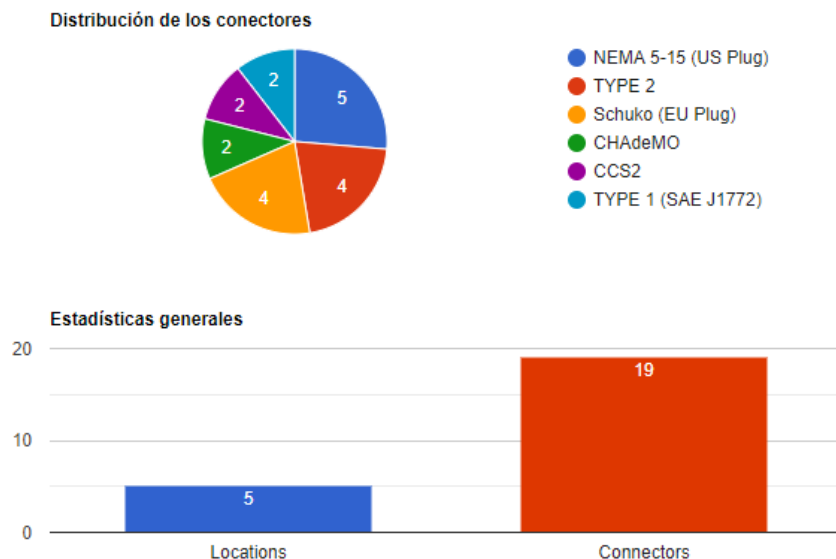


Figura 3-2. Cantidad de Cargadores y Distribución de Tipos de Conectores para Medellín a 2019. (Electromaps, 2019b)

## Cali:

- La ciudad actualmente no cuenta con un gran número de vehículos eléctricos, en 2016 en la región se vendieron únicamente 2 vehículos en comparación con los 97 vehículos vendidos en Bogotá y Cundinamarca y los 92 vehículos vendidos en Medellín (El País, 2018).
- Desde el municipio se ha impulsado la electrificación del transporte público a favor de los planes de movilidad sostenible de la ciudad. Estas acciones han resultado en que Cali es hoy la ciudad de América Latina con la tercera mayor orden de compra de buses eléctricos, 137 buses, lo cual representa el 10% de su flota actual.
- De acuerdo con Electromaps a 24 de octubre de 2019, Cali solo cuenta con 2 estaciones de carga con 3 conectores de diferentes tipos. Ambas estaciones están ubicadas en centros comerciales, dentro de las cuales, una de estas es operada por Celsia.

Esta misma metodología se utilizó para seleccionar las ciudades intermedias, adicionando como factor la importancia que tienen las ciudades intermedias en la conexión con las ciudades principales escogidas. Como se evidencia en el estudio realizado para el DNP sobre conectividad urbana (Sanchez, 2012), en el cual el autor a través de un modelo de transporte para estimar la demanda de viajes en las principales vías nacionales concluye entre otros, que la densidad de viajes entre ciudades cercanas y con mayor población es superior a los viajes que se presentan entre ciudades más distantes.

Teniendo en cuenta los anteriores criterios, el consultor decidió escoger las tres ciudades intermedias debido al gran volumen de viajes que presentan las rutas Bogotá-Ibagué-Cali, Cali-Pereira-Medellín y, teniendo en cuenta el volumen de viajes entre Bogotá-Tunja.

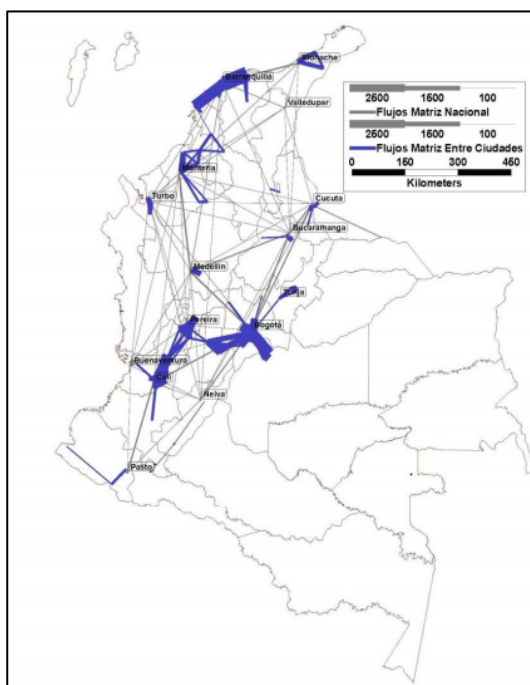


Figura 3-3. Flujo de vehículos privados – viajes interurbanos (Sanchez, 2012)

Teniendo en cuenta el potencial de viajes entre las ciudades principales seleccionadas, se escogió en primer lugar a Pereira, ya que cuenta con el sistema BRT (Megabús) que se encuentra en proceso de reorganización de su flota, y para el cual se tienen planes de implementación de buses eléctricos.

La segunda ciudad seleccionada dentro del corredor es Ibagué, debido a que se encuentra en el proceso de implementar el Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), para lo cual la administración municipal ha valorado la alternativa de buses como parte de la estructuración de este proyecto de transporte.

Por el momento, frente a la ciudad de Tunja, actualmente no se cuenta con información para el desarrollo de un plan de electrificación de la flota de buses de transporte urbano. Se encuentra en consulta por parte del equipo consultor a las autoridades locales, para determinar si existe un plan de electrificación para los buses de transporte público en los próximos años.

### 3.2 FACTORES QUE DETERMINA UNA RED DE CARGA PRIVADA Y PUBLICA

Como se presentó de la experiencia internacional, las estaciones de carga se dividen en estaciones privadas y estaciones públicas. En el primer caso como su nombre lo indica se atienden vehículos o flota de vehículos que pertenecen a un individuo o entidad jurídica. Mientras que en el segundo caso son estaciones que tienen libre acceso BEV de cualquier persona.

En segundo lugar, la propuesta para la estimación del número de estaciones que se requieren para soportar la entrada de BEV al país, tiene en cuenta las características de los vehículos y sus condiciones de operación, lo que nos lleva a dividir el análisis en los siguientes tipos de vehículos:

- Motos
- Livianos: compuesto por vehículos particulares y taxis
- Transporte público: Buses y algunas flotas
- Carga urbana: compuesta por vehículos de carga liviana, asociados a flotas especializadas
- Micromovilidad: Compuesta por Bicicletas, Patinetas

**Motos:** Dadas las características del tipo de baterías con el que cuenta este medio de transporte, la carga se puede hacer mediante un cargador básico de carga lenta sin conectores especiales, no se recomienda la carga rápida para estas unidades, por lo anterior el número de motos eléctricas no se tiene en cuenta para la determinación de estaciones públicas.

**Livianos:** En este tipo se incluyen los vehículos particulares y taxis. En este nicho se encuentra que una parte significativa de usuarios toma la decisión de contar con un equipo de recarga privado ya sea en su vivienda o sitio de trabajo, mientras que hay otros que por condiciones de acceso o recursos prefiere realizar la carga en sitios públicos. Para el ejercicio realizado en este estadio del estudio se toma como punto de partida la experiencia internacional que señala que el 10% de los vehículos carga en estaciones públicas mientras que el 90% restante lo hace en sistemas privados. En la medida que se avance en el análisis de potencialidades y restricciones para la instalación de sistemas de carga en unidades residenciales, parqueaderos privados, o sitios públicos se ajustaran estos % para la recomendación del No de puntos de carga y Estaciones Públicas.

**Buses:** Los sistemas de almacenamiento, las distancias recorridas diariamente por vehículo, la autonomía requerida y las características del modelo de prestación basado en rutas y empresas dedicadas llevan a proponer sistemas de carga dedicados en patios de cada empresa en los que se cuente con unidades de carga rápida que garanticen un parque disponible y confiable para la operación de estos sistemas de transporte.

**Carga Urbana:** En este tipo de vehículos se incluyen vehículos de dos ejes que se utilizan generalmente para la distribución de productos en las ciudades y sobre los cuales existen tecnologías comerciales que ofrecen BEV. Como en el caso de los buses, se supone que en su mayoría esta carga está asociada a flotas privadas de carga, razón por la cual contarán con sitios propios de estacionamiento en los que puedan instalar estaciones de carga rápida que alimenten sus vehículos y esporádicamente harán uso de estaciones públicas por condiciones de seguridad y

confiabilidad en la movilidad. Por lo tanto los cálculos que se presentan para este tipo corresponden a estaciones en patios privados.

Disponer de una red de recarga pública robusta, representa una solución para las principales barreras a la hora de decidirse a comprar un BEV cuando: i) No se cuenta con condiciones propicias para asumir la inversión del cargador: ii) Vivir en apartamento a los que no es fácil tener acceso para instalar una unidad de carga y iii) No tener vivienda propia.

Micromovilidad: En este nicho, la carga se realizará en las viviendas o sitios de trabajo, sin la necesidad de unidades de carga.

### **3.3 ANÁLISIS DE PROYECCIÓN DE CANTIDAD, TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA REQUERIDA (CARGA RÁPIDA, CARGA LENTA) TENIENDO EN CUENTA TIPO DE SERVICIO, PROPIEDAD HORIZONTAL, PARQUEADEROS PÚBLICOS, DENSIDAD POBLACIONAL, ETC., PARA MOTOS, VEHÍCULOS PARTICULARES Y SOLUCIONES DE MICROMOVILIDAD.**

El análisis de los requerimientos en infraestructura de carga obedece principalmente a las proyecciones del parque automotor y de la transición esperada hacia vehículos eléctricos. Este primer informe de avance toma como base para su análisis las proyecciones del crecimiento del parque automotor y las estimaciones de penetración de los vehículos eléctricos que han sido realizadas por la UPME, con el objetivo de desarrollar una metodología que permita estimar los requerimientos de cargadores (Privados o públicos), definir las condiciones técnicas para su implementación (Tipo de conector y tipo de carga: carga lenta, semirápida o rápida) y la ubicación geográfica de la red pública (EDS, centros comerciales, Espacio público, parqueaderos, etc.).

#### **3.3.1 Proyecciones de penetración de vehículos eléctricos**

Con el objetivo de validar las proyecciones del parque automotor y la penetración de los vehículos eléctricos, el consultor considera fundamental el análisis del crecimiento histórico y el estado actual del parque automotor nacional como base para este proceso de validación. A partir de la información del Registro Único de Tránsito (RUNT) y del Ministerio de Transporte se puede observar que el parque automotor se ha duplicado en la última década, pasando de aproximadamente seis (6) millones de vehículos en 2008 a trece (13) millones de vehículos en 2018. Estas cifras implican un crecimiento anual promedio (CAGR) de 8.6% para los últimos 10 años y de 7.6% en los últimos 5 años.

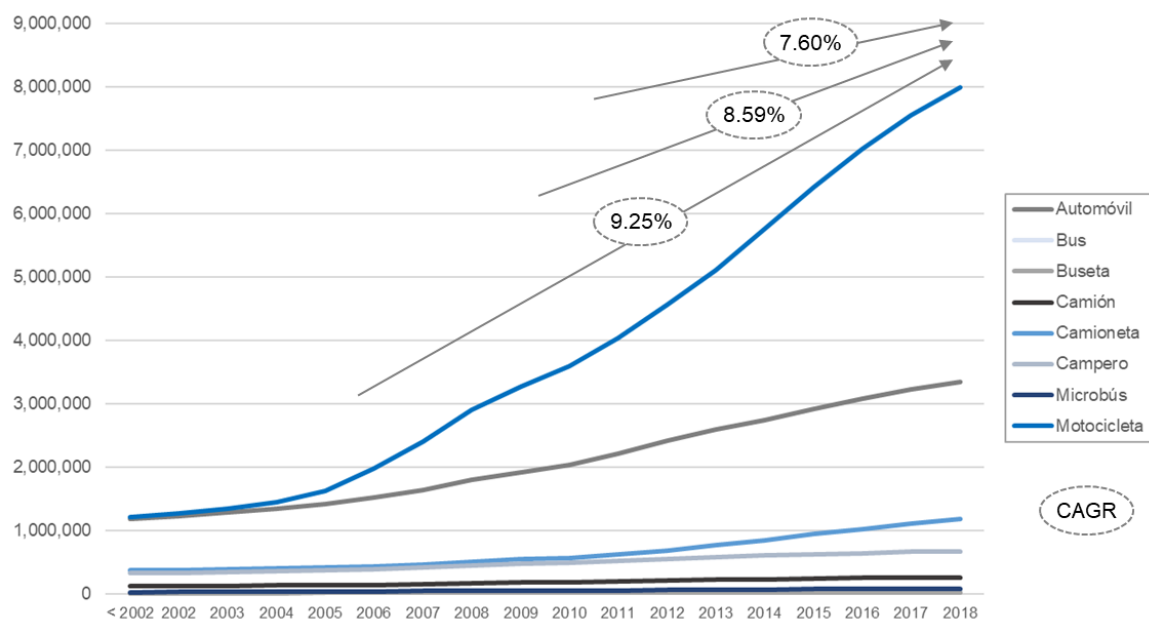


Figura 3-4. Crecimiento Parque Automotor (2001-2018)

Fuente: (MIntransporte, 2019)

La desaceleración del crecimiento del parque automotor es consecuente con la tendencia que define que a medida que el parque automotor aumenta, su crecimiento tiende a disminuir. La Tabla 3-1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra que, mientras que entre 2007-2008 la tasa de crecimiento promedio del parque automotor fue alrededor del 14%, entre 2017 y 2018 esta no supera el 5% en promedio.

Tabla 3-1. Crecimiento Anual y CAGR Parque Automotor

Clase de Veh.	Crecimiento Anual			CAGR		
	2002-2003	2007-2008	2017-2018	15 años	10 años	5 años
Automóvil	4.73%	9.21%	3.82%	6.57%	6.40%	5.25%
Bus	3.45%	5.06%	1.94%	4.71%	4.55%	4.65%
Buseta	10.16%	4.22%	0.90%	4.04%	2.42%	1.74%
Camión	1.90%	7.21%	1.36%	4.60%	4.13%	3.16%
Camioneta	2.39%	8.83%	7.16%	7.63%	8.71%	9.06%
Campero	2.44%	7.76%	1.77%	4.51%	4.10%	2.95%
Maquinaria	1.76%	4.02%	0.09%	1.28%	0.27%	0.03%
Microbús	8.23%	8.05%	0.74%	5.11%	4.03%	2.70%
Motocicleta	6.14%	20.86%	5.70%	12.57%	10.64%	9.32%
Tractocamión	3.43%	16.68%	0.17%	9.02%	5.73%	1.11%
Volqueta	0.19%	7.14%	0.64%	4.22%	4.85%	2.84%
Otros	5.77%	39.95%	8.14%	19.45%	18.32%	12.90%
<b>Total</b>	<b>4.65%</b>	<b>14.26%</b>	<b>4.99%</b>	<b>9.25%</b>	<b>8.59%</b>	<b>7.60%</b>

Fuente: (MIntransporte, 2019)



Los mayores cambios en las tendencias de crecimiento los presentan los automóviles y motocicletas, los cuales representan la mayor cantidad de vehículos del parque automotor del país (82% del parque automotor). En el caso de las motocicletas, este segmento paso de crecer anualmente 22% en 2007-2008 a menos de 6% en 2017-2018, mientras que los vehículos pasaron de tener un crecimiento superior al 9% en 2007 y 2008 a menos del 4% en 2017-2018. Esta tendencia decreciente se considera en la evaluación de las proyecciones de penetración de vehículos eléctricos presentadas más adelante y que a su vez determinan la cantidad de potenciales de cargadores eléctricos para cada una de las ciudades escogidas.

Frente al tema de movilidad eléctrica particular en el país, históricamente la tasa de penetración de vehículos eléctricos e híbridos en Colombia ha sido muy baja. En 2018 se registraron en el país 390 vehículos eléctricos y 542 híbridos, lo cual representó el 0.76% de los automóviles registrados este año, marcando un hito para este tipo de vehículos en el país.

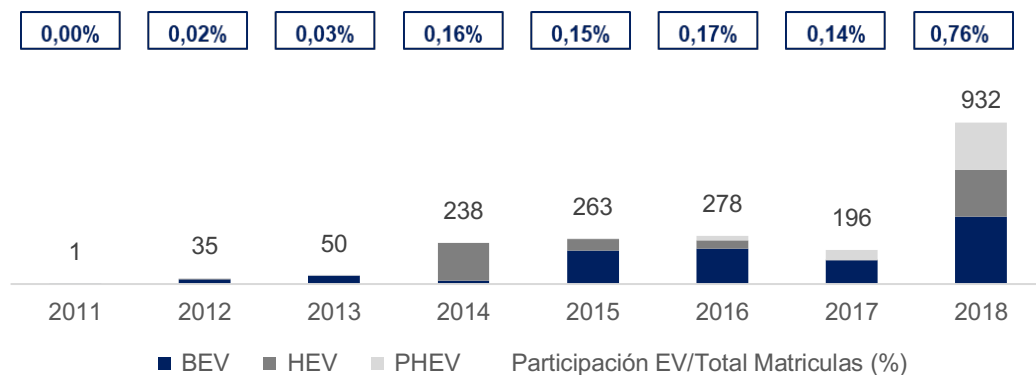


Figura 3-5. Vehículos eléctricos matriculados (2011-2008) (Andemos, 2019)

Con este aumento en los vehículos registrados, en 2018 el país cerró el con un total de 1,993 vehículos eléctricos, lo cual continúa siendo una proporción insignificante entre los más de 3 millones de vehículos existentes en el parque automotor (0.07%). Cabe destacar que este último crecimiento fue jalonado principalmente por el crecimiento de los vehículos particulares a batería (BEV) en las marcas Renault y BMW. Por su parte, los vehículos híbridos eléctricos enchufables, han presentado también un importante crecimiento en los últimos 2 años, en donde KIA ha sido la marca líder de este segmento.

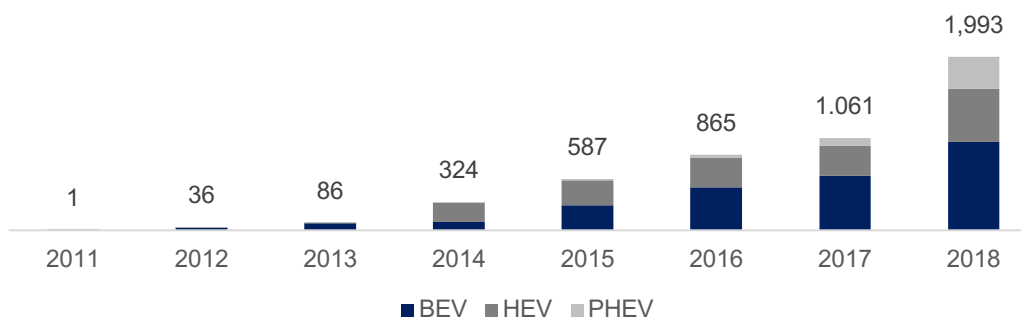


Figura 3-6. Total vehículos eléctricos anual (2011-2008) (Andemos, 2019)

Frente al segmento de motos eléctricas, en 2018 este segmento llegó a las 1,168 unidades, lo cual aun siendo un monto insignificante frente a las más de 8 millones de motos registradas en el país (0.01%).

En adición a lo anterior, de acuerdo con la información registrada en el Registro Único Nacional de Transporte (RUNT), a octubre de 2019 el país ya contaba con 1,469 vehículos livianos eléctricos, 1,699 vehículos livianos híbridos, 1,384 motos eléctricas y 94 vehículos pesados eléctricos, como se puede ver en la siguiente tabla, la cual considera las ciudades en las que se enfocara este trabajo como se menciona más adelante en el documento.

Tabla 3-2. Parque automotor eléctrico por ciudades y total país (RUNT, 2019)

Tipo de vehículo	Automóvil		Camioneta		Campero	Moto	Buses	Busetas	Microbús	Camiones
	Eléctrico	Hibrido	Eléctrico	Hibrido	Hibrido	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
BOGOTÁ	743	102	62	349	2	390	8	0	0	0
CALI	18	7	9	54	0	51	27	0	1	0
IBAGUÉ	4	4	1	9	0	3	0	0	0	0
PEREIRA	8	4	2	13	0	16	0	0	0	0
TUNJA	2	0	1	4	0	0	0	0	0	0
MEDELLÍN	348	339	91	627	2	312	2	1	0	12
<b>TOTAL PAÍS</b>	<b>1,234</b>	<b>487</b>	<b>235</b>	<b>1,208</b>	<b>4</b>	<b>1,384</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>41</b>

Teniendo en cuenta los antecedentes del parque automotor y su actualidad, además de la evolución de los vehículos eléctricos, a continuación, se presentan las proyecciones de la UPME sobre el crecimiento del parque automotor.

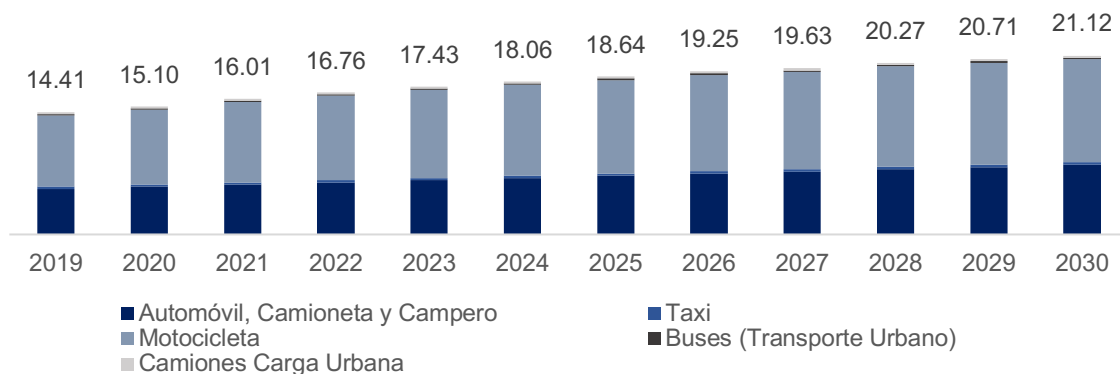


Figura 3-7. Proyecciones parque automotor realizadas por la UPME. (Millones de unidades)

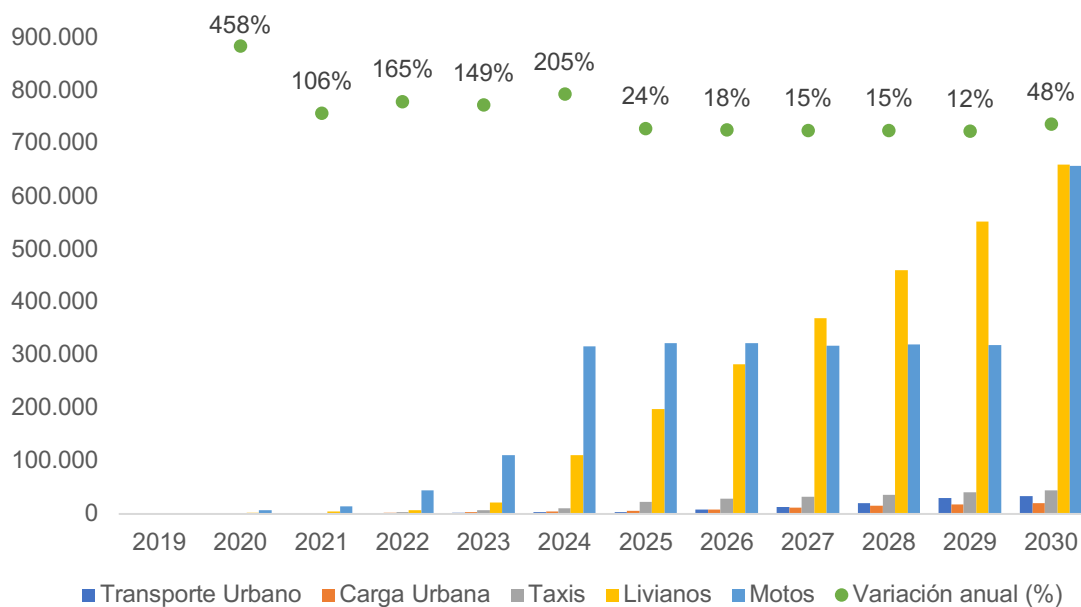


Figura 3-8. Proyecciones UPME de Crecimiento de EVs para 2030.

Tabla 3-3. Proporción vehículos eléctricos sobre el parque automotor total.

Año	2021	2025	2030
Transporte Urbano	0.8%	2.3%	18.7%
Carga Urbana	0.6%	2.6%	7.9%
Taxis	0.1%	8.1%	14.8%
Livianos (auto, camioneta, etc.)	0.1%	2.9%	8.0%
Motos	0.2%	2.9%	5.4%

Se espera que para 2030 haya un cerca de 1,500,000 vehículos eléctricos (autos, motos, taxis, etc.) que representan un 6.7% del total del parque automotor.

### 3.3.2 Metodología para el cálculo de la cantidad de cargadores

Ahora bien, para poder calcular la relación de estaciones de carga pública respecto a la cantidad de EVs en la ciudad, se tuvo como referencia la metodología utilizada en el estudio “*Development of an assessment model for predicting public electric vehicle charging stations*” (Viswanathan, y otros, 2018). En este estudio, considera diferentes factores como la distancia promedio recorrida por día, la autonomía de los EVs, la capacidad de la batería y velocidad media, entre otros factores que se detallarán a continuación:

*Ecuación 3-1. Relación de EVs por Estación de Carga.*

$$\frac{N}{L} = \frac{P_L \cdot T_L}{B/E \cdot D}$$

Donde  $L$  es la cantidad de puntos de recarga;  $N$  es la cantidad de EVs;  $B$ : es la capacidad de la batería (kWh);  $E$  es la autonomía del EV (km);  $D$  es la distancia promedio recorrida por el conductor;  $P_L$  es la potencia promedio de las estaciones y  $T_L$  es el tiempo de uso efectivo de la estación de recarga (horas)

Algunos datos pueden ser obtenidos a partir de los datos de movilidad para cada ciudad, como la distancia promedio diaria recorrida. La autonomía se obtiene a partir del promedio reportado por los comercializadores de los vehículos eléctricos en Colombia, al igual que la capacidad de la batería, que se obtiene de los fabricantes de vehículos.

La capacidad de la batería promedio es 34 kWh (tomado de los fabricantes), la autonomía promedio de los vehículos comercializados en Colombia es igual a 204 km y la distancia recorrida promedio al día es de 15.4 km (CAF - Banco de Desarrollo de América Latina, 2014), sin embargo, se tomarán diferentes escenarios de distancia media de recorridos diarios: 15.4 km, 20 km y 30 km para evaluar la sensibilidad.

Por otra parte, la potencia de las estaciones de carga pública serán de carga semirápida y/o rápidas, que corresponden a potencias de 11 kW y 22 kW para carga semirápida y 50 kW para carga rápida.

Ahora bien, el tiempo de uso de la estación puede ser muy variable, sin embargo, la carga en estaciones públicas se supone que se generará en horarios laborales y horas pico, toda vez que se asume que en las noches están cargando en sus casas, por lo que se seleccionaron diferentes tiempos de uso del cargador. Los valores para estimar son 4 h, 6 h y 8 h.

Una vez aplicados estos supuestos en la fórmula, se obtienen diferentes valores que se reflejan a continuación:

Tabla 3-4. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 15.4 km).

Distancia Promedio (km)		Potencia EVSE (kW)		
15.4		<b>11</b>	<b>22</b>	<b>50</b>
Horas Efectivas de Uso por día del EVSE	<b>4</b>	17	34	78
	<b>6</b>	26	51	117
	<b>8</b>	34	69	156

Tabla 3-5. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 20 km).

Distancia Promedio (km)		Potencia EVSE (kW)		
20		<b>11</b>	<b>22</b>	<b>50</b>
Horas Efectivas de Uso por día del EVSE	<b>4</b>	13	26	60
	<b>6</b>	20	40	90
	<b>8</b>	26	53	120

Tabla 3-6. Cantidad de EVs por cada EVSE variando potencia y horas efectivas de carga (Caso 30 km).

Distancia Promedio (km)		Potencia EVSE (kW)		
30		<b>11</b>	<b>22</b>	<b>50</b>
Horas Efectivas de Uso por día del EVSE	<b>4</b>	9	18	40
	<b>6</b>	13	26	60
	<b>8</b>	18	35	80

Fuente Análisis del equipo consultor

De los resultados antes presentados, la relación de vehículos eléctricos (EV) por cargador (EVSE) varía dependiendo de las horas efectivas de uso del cargador, la potencia del cargador y la distancia promedio diaria conducida por el usuario.

A continuación, se presenta la figura con los resultados del cálculo de cargadores por EVs.

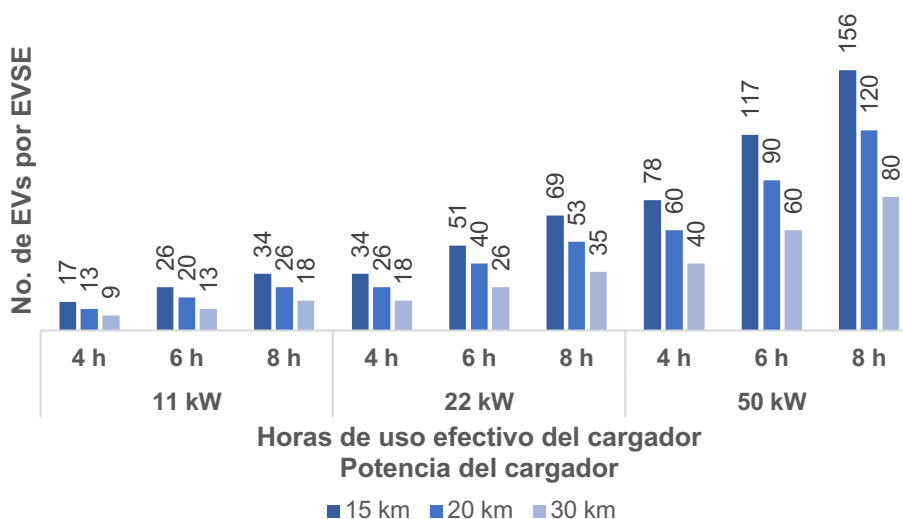


Figura 3-9. Cantidad de EVs por EVSE para diferentes escenarios.

Para la carga semirápida, con una potencia de 11 kW, existe un rango de relaciones, que van desde 1 cargador por cada 9 vehículos eléctricos hasta 1 cargador por cada 34 vehículos eléctricos, para el caso del cargador de 22 kW de potencia, se obtienen relaciones que van desde los 18 EVs por cargador, hasta 69 EVs por cargador. En el caso de los EVSE de carga rápida (50 kW), se tienen desde 40 EVs hasta 156 EVs por cargador.

Ahora bien, considerando las horas efectivas de uso, las horas pico para las ciudades principales son de aproximadamente 6 horas. En la mañana la hora pico es de 6:00 am a 8:30 am y en el horario de la tarde es de 4:00 pm a 7:30 pm. En estas horas pico, los usuarios de EVs estarán viajando desde y hacia sus hogares, por lo que podrán ir a cargar sus vehículos en las electrolinerías. En el peor escenario, la distancia promedio recorrida al día por un usuario de vehículo eléctrico es 15.4 km.

Por lo tanto, tanto para el escenario de 11 kW, 22 kW y 50 kW se tomaron los resultados obtenidos de los escenarios de 6 horas de uso efectivo del cargador y 15.4 km como distancia promedio recorrida al día.

En ese caso, para el escenario de carga semirápida con cargador de 11 kW, se requiere una infraestructura de 1 cargador por cada 26 vehículos eléctricos, mientras que para el escenario de cargadores semirápidos con potencia de 22 kW, es necesario contar con una infraestructura de 1 cargador por cada 51 vehículos eléctricos, con el fin de poder suplir la demanda en el peor de los casos.

En el escenario de carga rápida (50 kW), se requiere instalar un EVSE de carga rápida por cada 117 vehículos eléctricos para poder suministrar la energía a los EVs.

En los casos como Europa, la recomendación es de 10 EVs por cada cargador, sin embargo, esto es teniendo en cuenta que los cargadores pueden ser de menor potencia (7.7 kW) y los EVs de hace años previos no contaban con las autonomías y capacidades de baterías de los vehículos actuales.

### 3.3.3 Proyección de la infraestructura requerida para las ciudades de interés

La cuantificación de las estaciones de servicio para cada una de las ciudades de interés tuvo como eje central la caracterización de la composición actual del parque automotor y de su distribución geográfica, a partir de los datos del RUNT a octubre de 2019<sup>11</sup>. Esta base permitió identificar, en primera instancia, la participación porcentual de los vehículos de cada ciudad frente al total del parque automotor a nivel nacional, y segundo, el número de vehículos en cada ciudad por clase frente al total de vehículos de esa misma clase a nivel nacional.

Tabla 3-7. Participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional (RUNT, 2019)

Número/Veh	Automóviles	Camionetas	Camperos
Bogotá	1,302,790	404,978	242,999
Medellín	456,640	146,136	94,276
Cali	289,247	84,797	33,674
Pereira	64,618	19,812	9,232
Ibagué	50,734	17,068	6,173
Tunja	14,585	5,201	2,783
<b>Total Vehículos (Ciudades)</b>	<b>2,178,614</b>	<b>677,992</b>	<b>389,137</b>
<b>Total Vehículos (Parque Automotor)</b>	<b>3,377,637</b>	<b>1,278,547</b>	<b>667,771</b>
	<b>%</b>		
Bogotá	38.57%	31.67%	36.39%
Medellín	13.52%	11.43%	14.12%
Cali	8.56%	6.63%	5.04%
Pereira	1.91%	1.55%	1.38%
Ibagué	1.50%	1.33%	0.92%
Tunja	0.43%	0.41%	0.42%
<b>Total Ciudades/Total Parque Automotor</b>	<b>65%</b>	<b>53%</b>	<b>58%</b>

<sup>11</sup> Entregados por la UPME en octubre 31 de 2019.

De forma complementaria, se realizó un análisis del registro anual por tipo de vehículo para cada una de las ciudades seleccionadas, con el objetivo de que las proyecciones se basaran en el comportamiento histórico del registro de vehículos al parque automotor existente para cada ciudad. A continuación, se puede ver un ejemplo para el caso de los automóviles.

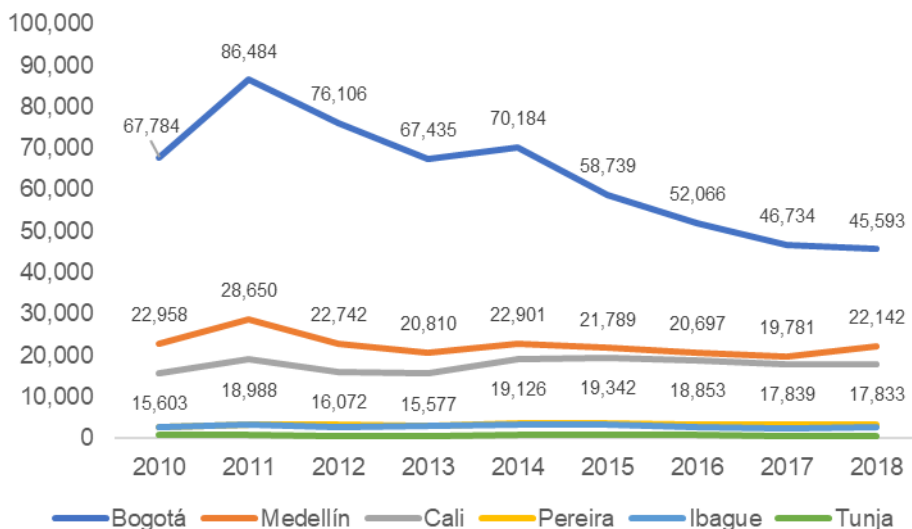


Figura 3-10. Registro anual de automóviles en las ciudades seleccionadas. (RUNT, 2019)

De esta manera, se logra obtener cual ha sido participación histórica de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional.

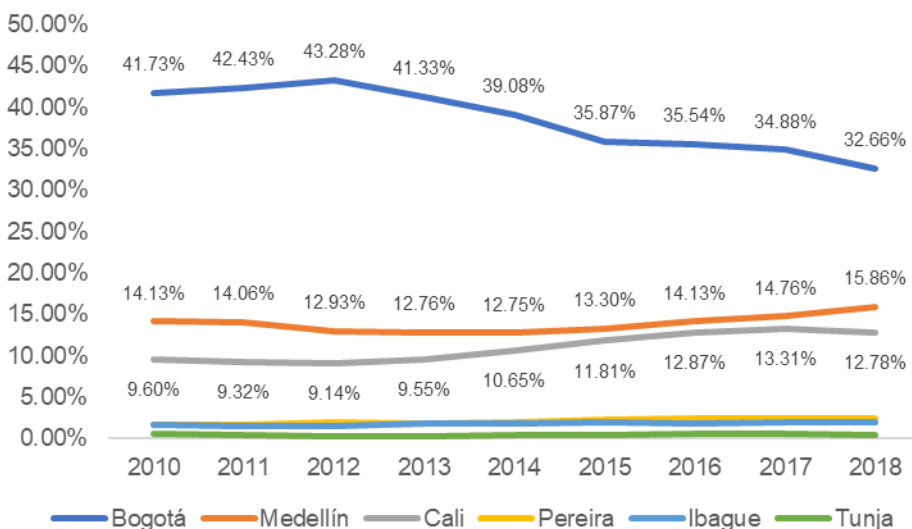


Figura 3-11. Participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional. (RUNT, 2019)



Así, se toma el promedio de esta participación para los últimos 3, 5 y 10 años. Debido a que en este documento se presentan proyecciones a largo plazo, se decide optar por el promedio a 10 años para escoger un proxy de la distribución de vehículos eléctricos en cada una de las ciudades de interés.

Tabla 3-8. Promedio de participación de los vehículos registrados en cada ciudad de interés sobre el total de vehículos registrados a nivel nacional (RUNT, 2019)

Participación	3 años	5 años	10 años
Bogotá	34.36%	35.61%	38.53%
Medellín	14.92%	14.16%	13.85%
Cali	12.99%	12.28%	11.00%
Pereira	2.40%	2.30%	2.08%
Ibagué	1.86%	1.87%	1.76%
Tunja	0.50%	0.48%	0.44%

Estos porcentajes son aplicados a las proyecciones de penetración de las diferentes clases de vehículos realizadas por la UPME, las cuales fueron presentadas al consultor el 7 de octubre de 2019, permitiendo así determinar un número aproximado de vehículos particulares, camionetas, camperos, taxis y motocicletas eléctricas que tendría anualmente cada ciudad en el periodo de 2019 a 2030.

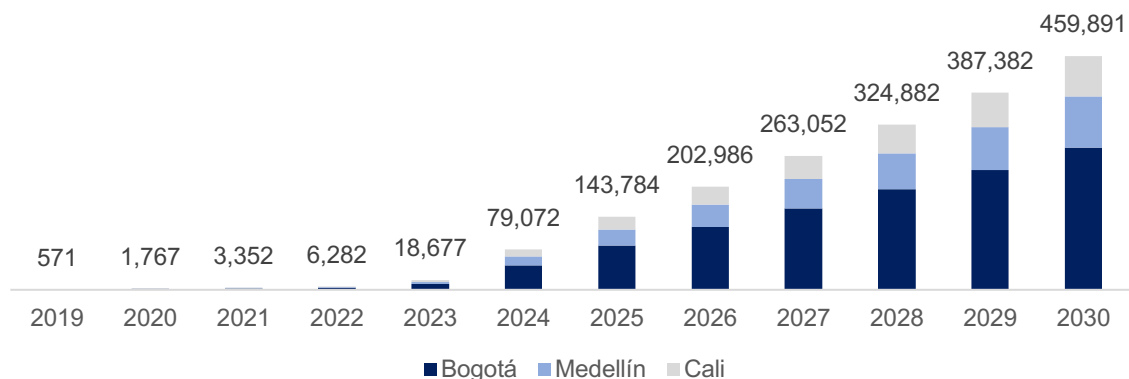


Figura 3-12. Penetración esperada de vehículos livianos eléctricos en las tres ciudades principales

De acuerdo con la Figura 3-12. *Penetración esperada de vehículos livianos eléctricos en las tres ciudades principales a 2030* se espera un despliegue de aproximadamente 459,891 vehículos livianos, de los cuales el 60% estarán ubicados en Bogotá, 22% en Medellín y 18% en Cali. Una vez se determina el número de vehículos eléctricos para cada una de las ciudades de interés, para continuar con el cálculo de la cantidad de estaciones de carga requeridas ante las proyecciones vehicular estimadas, se parte de la diferenciación entre los requerimientos de estaciones para carga pública y carga privada. De acuerdo con la experiencia internacional evaluada en el numeral 3.2, el 10% de los vehículos livianos carga en estaciones públicas, mientras que el 90% restante lo hace en

sistema de carga privada. Debido a que los usuarios de vehículos eléctricos que optan por carga privada cuentan con un cargador personal, la relación vehículo/cargador es de 1 a 1, lo cual significa que, a partir de las estimaciones de vehículos livianos a 2030, en el caso de Bogotá se tendrán 251,645 puntos de carga privada en la ciudad, en el caso de Medellín se tendrán 90,464 cargadores privados y en el caso de Cali 71,793 cargadores privados.

Frente a los requerimientos de puntos de carga pública en estas tres ciudades, se parte de los resultados encontrados en el numeral 3.3.2, la cual define la relación entre cantidad de cargadores por número de vehículos estimados dependerá de la potencia de los cargadores. Así, se estableció que para el escenario de carga semirápida con cargador de 11 kW, se requiere una infraestructura de 1 cargador por cada 26 vehículos eléctricos, mientras que para el escenario de cargadores semirápidos con potencia de 22 kW, es necesario contar con una infraestructura de 1 cargador por cada 51 vehículos eléctricos. De igual forma, en el escenario de carga rápida (50 kW), se requiere instalar un EVSE de carga rápida por cada 117 vehículos eléctricos para poder suministrar la energía a los EVs. A continuación, se presenta este ejercicio aplicado a las tres ciudades más grandes a partir de las proyecciones de los vehículos livianos a 2030.

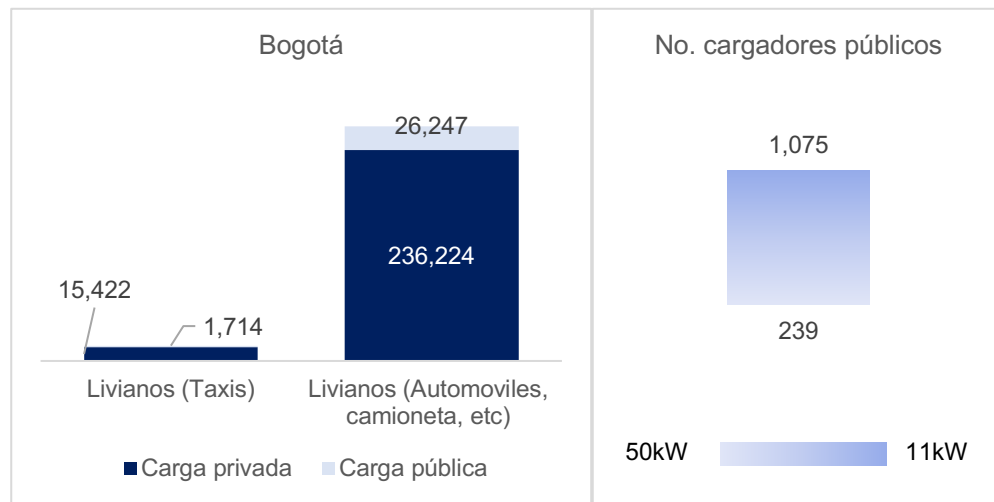


Figura 3-13. Número de cargadores públicos requeridos en Bogotá a 2030

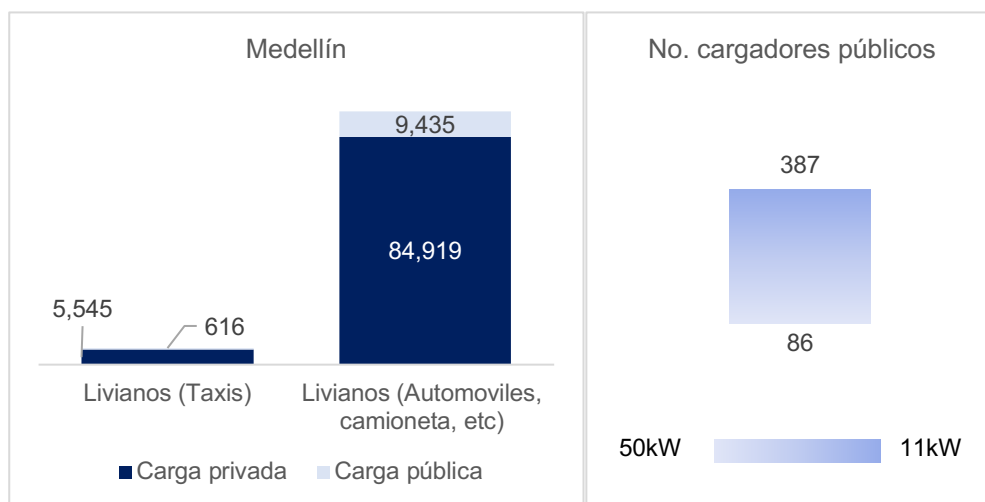


Figura 3-14. Número de cargadores públicos requeridos en Medellín a 2030

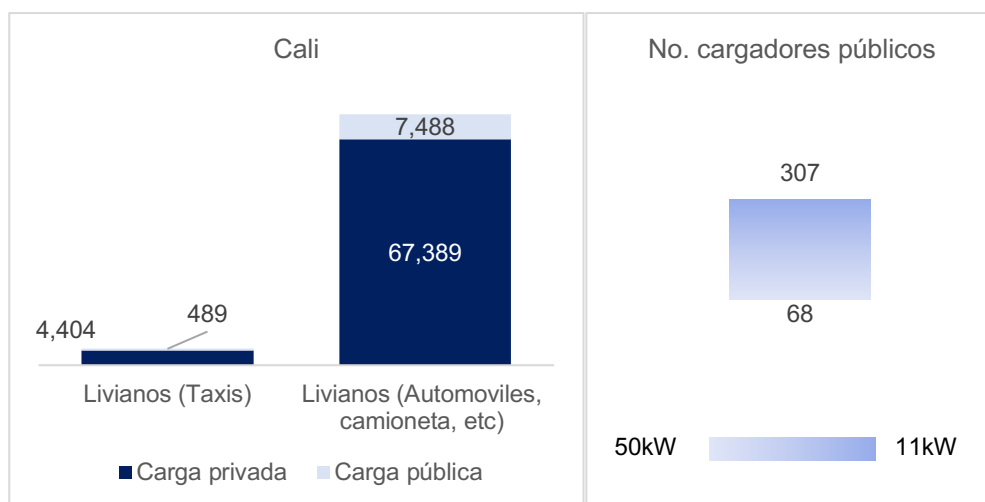


Figura 3-15. Número de cargadores públicos en Cali a 2030

El número de cargadores públicos dependerá de la asignación de la potencia de los cargadores que sean instalados en cada ciudad. Lo anterior, dependerá del desarrollo del mercado de infraestructura de carga y de los actores que resulten interesados en la instalación de puntos de carga. Así, en el caso de Medellín, el rango de la infraestructura de carga requerida a 2030 está entre 68 cargadores, si todos estos fueran de 50 kW, y 307 cargadores si todos estos fueran a 11 kW. Ahora bien, una vez se define la cantidad de puntos de carga que requieren las principales ciudades, el siguiente esquema resume las consideraciones, en cuanto al tipo de cargador, su nivel de carga y la potencia requerida, que se deben tener en cuenta en la instalación potencial de cargadores, tanto privados como públicos.

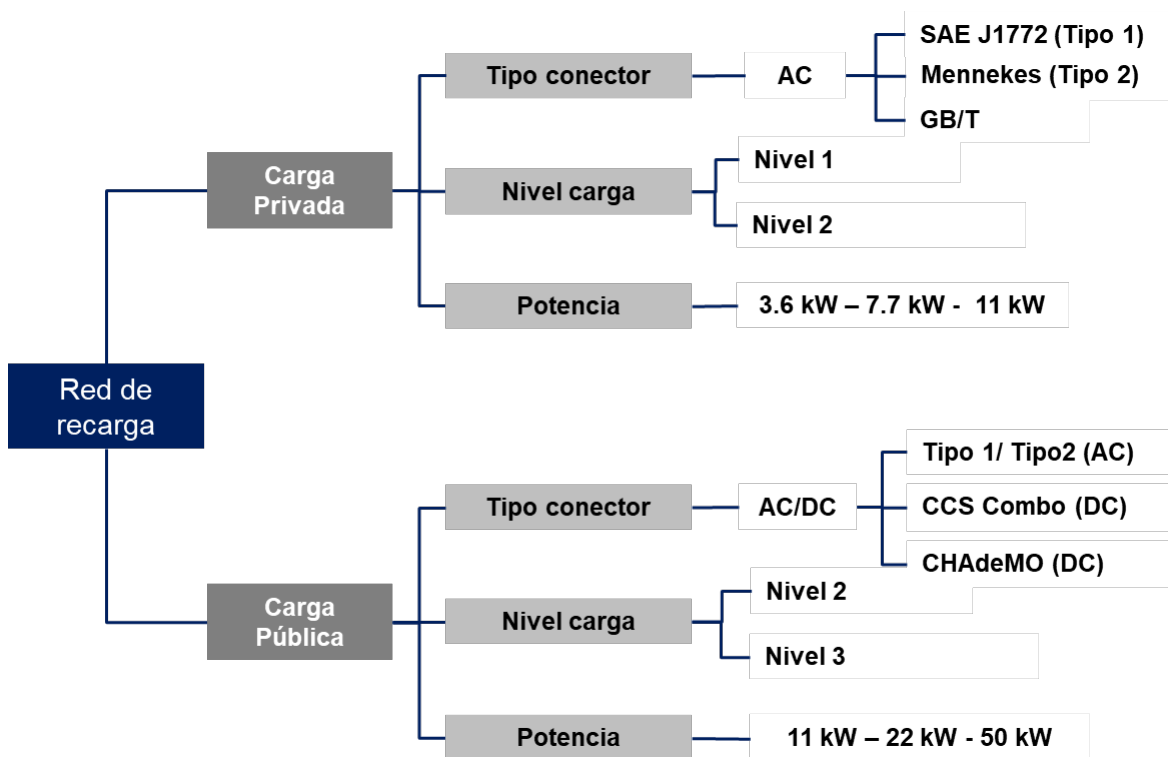


Figura 3-16. Esquema para el despliegue de puntos de carga en las ciudades

En complemento a este esquema, se debe determinar la ubicación potencial de los cargadores, ya que tanto la carga privada como la pública, tienen condiciones específicas en cuanto a su despliegue. A continuación, se puede para cada una de las ciudades grandes la ubicación potencial de los puntos de carga.

Tabla 3-9. Aplicación del esquema para la instalación de cargadores en las ciudades grandes

Ciudad	Vehículos Livianos 2030	Tipo de carga	No. Cargadores	Ubicación potencial
Bogotá	279,606	carga privada - Nivel 1 (3.6 kW-) y Nivel 2 (7.7 kW)	251,645	Bogotá cuenta con 2,523,519 viviendas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 13,4% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (338,152) (Estratos 4,5 y 6).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 33% viven en casa (112,000 viviendas), mientras que el 66% vive en propiedad horizontal (225,277).</li> <li>○ El 50% es propietario de la vivienda y el 50% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad (169.179).</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	239 - 1,075	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 142 centros comerciales</li> <li>• 482 estaciones de servicio</li> <li>• 4,656 parqueaderos cubiertos (no PH)</li> </ul>

Ciudad	Vehículos Livianos 2030	Tipo de carga	No. Cargadores	Ubicación potencial
Medellín	100,515	carga privada - Nivel 1 (3.6 kW-) y Nivel 2 (7.7 kW)	90,464	Medellín cuenta con 892,151 viviendas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 23,4% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (209,565) (Estratos 4,5 y 6). <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 41% viven en casa (84,000 viviendas), mientras que el 59% vive en propiedad horizontal (125,257).</li> <li>○ El 60% es propietario de la vivienda y el 40% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad.</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	86 - 387	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 198 centros comerciales</li> <li>• 174 estaciones de servicio</li> <li>• 86 parqueaderos</li> <li>• 23 subestaciones eléctricas</li> <li>• 45 supermercados</li> </ul>
Cali	79,770	carga privada - Nivel 1 (3.6 kW-) y Nivel 2 (7.7 kW)	71,793	Cali cuenta con 690,275 viviendas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 21,1% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (145,565) (Estratos 4,5 y 6). <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 44.22% viven en casa (112,000 viviendas), mientras que el 66% vive en propiedad horizontal.</li> <li>○ El 60% es propietario de la vivienda y el 40% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad.</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	68 - 307	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 48 centros comerciales</li> <li>• 122 estaciones de servicio</li> <li>• 49 parqueaderos</li> </ul>

La carga privada se concentra principalmente en la ubicación residencial. Como parte de un ejercicio para estimar la ubicación potencial de los cargadores privados, se parte de información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) sobre el número de viviendas existentes en cada ciudad y las características de estas. De acuerdo con estos datos, se consideró que el mercado potencial en el despliegue de vehículos eléctricos se encuentra en los estratos 4, 5 y 6, debido a la barrera que enfrentan de menor poder adquisitivo hogares frente al precio de estos vehículos.

En el caso de Bogotá, en 2030 se estima un total de 279,606 vehículos eléctricos, donde 251,645 se espera cuenten con cargador propio. Actualmente, Bogotá cuenta con 338,152 viviendas en los estratos 4,5 y 6, lo cual permite ver que, a día de hoy, hay suficientes viviendas para satisfacer las estimaciones futuras en cuanto al despliegue de cargadores privados. No obstante, este despliegue debe tener en cuenta dos factores adicionales, la tenencia de la propiedad y el tipo de vivienda. En cuanto al primero, se considera que las viviendas en arriendo pueden generar algunos desincentivos en cuanto a la instalación de los cargadores, esto teniendo en cuenta que las viviendas en arriendo presentan una permanencia de corto a

mediano plazo, y los costos adicionales de la instalación de los cargadores, que puede ser del 5-10% de costo del vehículo, pueden ser una barrera para que en estas viviendas se opte por tener su cargador propio. De las 338,152 viviendas establecidas en Bogotá, se estima que 169,179 viviendas están arriendo o en otras condiciones (usufructo). Teniendo en cuenta que se estima que 251,645 viviendas cuentan con un cargador propio, es necesario que casi el 50% de las viviendas que están en arriendo cuenten con un cargador propio para sus vehículos para satisfacer las estimaciones realizadas.

Frente al segundo punto, las viviendas en copropiedad u propiedad horizontal, como apartamentos en edificaciones o conjuntos residenciales, también enfrentan barreras para la instalación de los cargadores. Estas barreras se resumen en la capacidad de la red de los edificios, la facilidad de la realización de acondicionamientos para la conexión de los cargadores, las autorizaciones de la administración de las copropiedades y la normatividad en aspectos técnicos para la instalación de puntos de carga en PH (RETIE y NTC 2050), la cual será profundizada más adelante en este documento. Para el caso de Bogotá, este punto adquiere una gran importancia, debido que los hogares viven principalmente en viviendas en propiedad horizontal (66%).

De esta manera, una vez se tiene clara la estructura para delimitar el número de cargadores requeridos, el tipo de cargador, el nivel de carga y la ubicación potencial para las ciudades grandes, este esquema se aplica de la misma manera en las ciudades intermedias escogidas: Pereira, Ibagué y Tunja. A continuación, se presentan las proyecciones estimadas de vehículos eléctricos livianos para las ciudades intermedias.

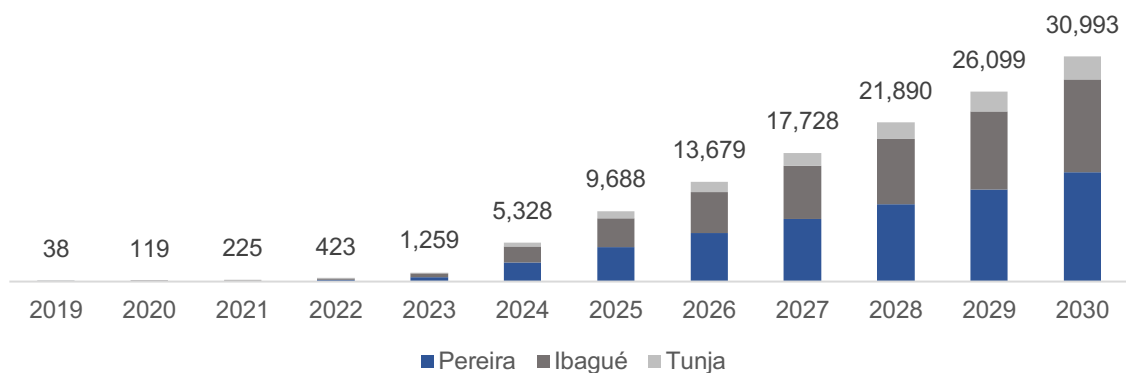


Figura 3-17. Proyección de vehículos livianos en ciudades intermedias

Al igual que con las ciudades grandes, se realiza una estimación de la entrada de vehículos eléctricos en las ciudades intermedias a partir de las proyecciones del parque automotor y el consumo de energía de la UPME, y la información cruzada del RUNT. Teniendo en cuenta que la infraestructura de carga privada tiene una relación 1 a 1 con el número de vehículos, se procede a hacer el cálculo de los requerimientos de puntos de carga pública a partir de la potencia requerida, ya sea

carga pública rápida (50kW) o semirápida (11kW-22kW). A continuación, se presentan los resultados sobre el despliegue estimado de puntos de carga pública en ciudades intermedias en 2030.

Tabla 3-10. Puntos de carga requeridos en ciudades intermedias en 2030

Ciudad	Vehículos	Carga rápida	Carga semirápida
Pereira	1,506	13	58
Ibagué	1,277	11	49
Tunja	316	3	12
Total	3,099	27	119

Una vez definido el número potencial de vehículos eléctricos que debe tener cada ciudad, se aplica el esquema de la ubicación potencial al igual que para las ciudades grandes utilizando la información de las viviendas existentes, la tenencia de la propiedad, el tipo de vivienda y los predios ideales para la implementación de los puntos de carga pública.

Tabla 3-11. Aplicación del esquema para la instalación de cargadores en las ciudades intermedias

Ciudad	Vehículos 2030	Ubicación cargadores	No. Cargadores	Ubicación potencial
Pereira	15,064	carga privada (3.6 kW-7.7 kW)	13,558	Pereira cuenta con 173,459 viviendas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16,7% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (29,037) (Estratos 4,5 y 6).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 72% viven en casa, mientras que el 28% vive en propiedad horizontal.</li> <li>○ El 50% es propietario de la vivienda y el 50% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad.</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	13 - 58	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 32 predios de uso comercial</li> <li>• 47 estaciones de servicio</li> <li>• 136 predios de espacio público</li> </ul>
Ibagué	12,765	carga privada (3.6 kW-7.7 kW)	11,489	Ibagué cuenta con 199,346 viviendas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 11,16% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (23,124) (Estratos 4,5 y 6).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 54% viven en, mientras que el 46% vive en propiedad horizontal.</li> <li>○ El 51% es propietario de la vivienda y el 49% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad.</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	11 - 49	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 estaciones de servicio</li> </ul>

Ciudad	Vehículos 2030	Ubicación cargadores	No. Cargadores	Ubicación potencial
Tunja	6,328	carga privada (3.6 kW-7.7 kW)	2,848	<p>Tunja cuenta con 64,550 viviendas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10,7% se consideran un mercado potencial de compradores de vehículos eléctricos (6,907) (Estratos 4 y 5).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ El 53% viven en casa, mientras que el 47% vive en propiedad horizontal.</li> <li>○ El 51% es propietario de la vivienda y el 49% restante es arrendatario o habita la vivienda bajo otra modalidad.</li> </ul> </li> </ul>
		carga pública (11kW-22 kW-50 kW)	3 - 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 estaciones de servicio</li> </ul>

Por último, por medio del esquema propuesto en la estimación del despliegue de carga pública en las ciudades seleccionadas, se aplicó en el resto de las ciudades principales del país para obtener un estimado de la infraestructura de carga potencial como se muestra a continuación.

Tabla 3-12. Despliegue a 2030 de puntos de carga pública en ciudades principales del país.

Ciudad	Vehículos	Carga rápida (50 kW)	Carga semirápida (11 kW)
Armenia	507	4	19
Barranquilla	2,195	19	84
Bucaramanga	3,365	29	129
Cartagena	596	5	23
Cúcuta	468	4	18
Manizales	1,405	12	54
Montería	274	2	11
Neiva	536	5	21
Pasto	772	7	30
Popayán	286	2	11
Riohacha	61	1	2
Santa marta	630	5	24
Valledupar	339	3	13
Villavicencio	385	3	15
<b>Total</b>	<b>11,819</b>	<b>101</b>	<b>454</b>



## Resumen

Las proyecciones de penetración de la entrada de vehículos eléctricos al país establecen que, a 2030, habrá un total de 704,902 EVs livianos (Incluyendo taxis), lo cual corresponderá al 8,3% del total de vehículos livianos registrados en el país. Frente a las ciudades seleccionadas se espera la entrada de 534,098 EVs, de los cuales se prevé que el 10% (53,409 EVs) requerirán puntos de carga pública. Esta proyección de vehículos eléctricos en las ciudades de interés permite observar que para 2030, se requerirá que se hayan instalado 1,888 puntos públicos de carga, a partir de una relación conservadora en donde todos los puntos de recarga publica tengan una potencia de 11 kW. Bajo este supuesto, el 56.94% deben estar ubicados en Bogotá, el 20.50% en Medellín, el 16.26% en Cali, y el 6.30% restante, entre las ciudades de Pereira, Ibagué y Tunja.

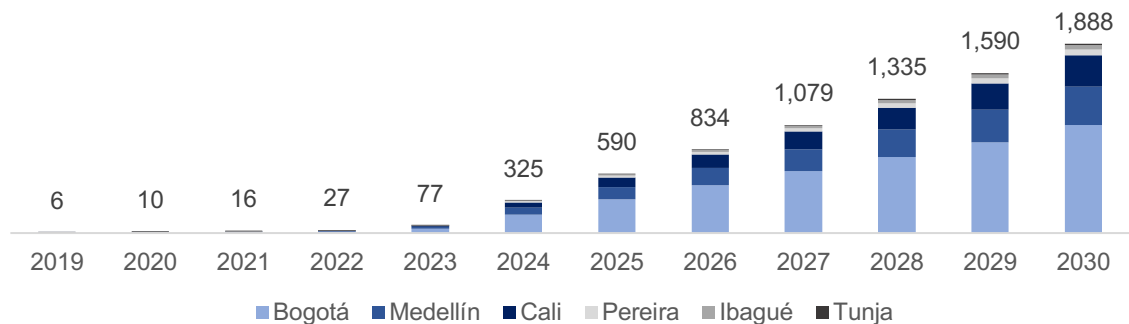


Figura 3-18. Proyección puntos de carga ciudades seleccionadas (Escenario 11 kW).

Durante 2019 y 2023, la baja entrada de EVs causa que se presente un bajo ingreso anual de cargadores públicos. No obstante, a partir de 2023 se espera la entrada de 200 a 300 puntos de recarga pública en el país, con el objetivo de satisfacer el crecimiento y la entrada del parque automotor eléctrico. Frente al caso de los puntos de carga privada, en 2030 se espera que haya un total de 442,000 viviendas con cargadores de uso privado. No obstante, este resultado estará sujeto a las características de las viviendas de cada ciudad, donde variables como la tenencia del inmueble, si es propiedad horizontal, pueden tener un efecto significativo en la ubicación potencias de los puntos de carga privada.

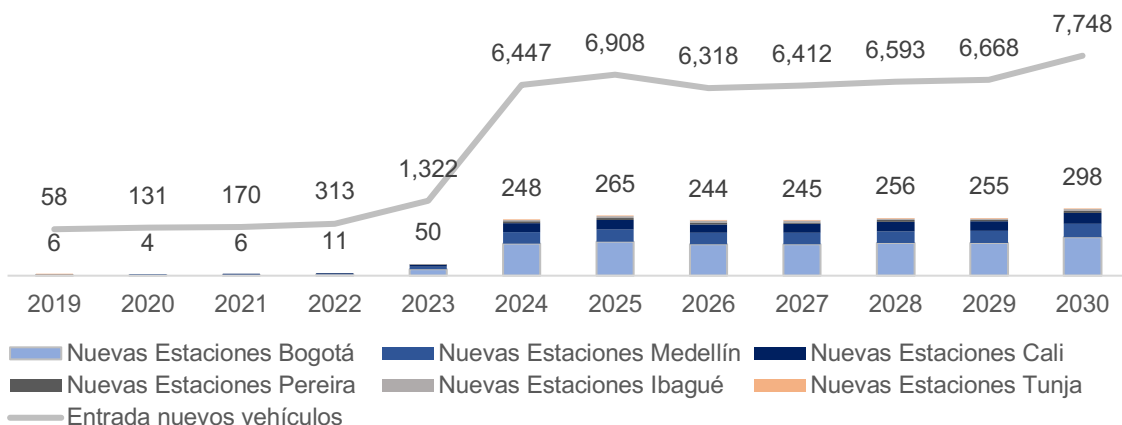


Figura 3-19. Proyección de la entrada anual de nuevos vehículos eléctricos que requieren carga pública y de estaciones de carga pública para las ciudades de interés. (Escenario 11 kW).

### 3.4 CONDICIONES DE INTEGRACIÓN DE ELECTROLINERAS EN ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EXISTENTES.

En la actualidad se ha identificado un vacío normativo que existe frente a la definición de “Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos)” prevista en el Decreto 1073 de 2015, la cual sólo hace alusión a los servicios de distribución de combustibles gaseosos y combustibles líquidos, por lo cual no hay claridad si es posible instalar puntos de carga para vehículos eléctricos. No obstante, la reciente Ley 1964 de 2019, establece el proyecto de modificación del aludido decreto para crea una nueva definición de Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos) que ya incluye energía eléctrica.

Además de lo anterior, los avances en temas regulatorios por parte del gobierno se han centrado en la definición de estándares de seguridad de las estaciones de carga y demás definiciones técnicas para su implementación en las estaciones de servicio. Este proceso es muy similar al que se lleva a cabo en Chile, donde la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) se encuentra trabajando en la confección final de Pliego Técnico para que el país cuente con su primera normativa en materia de electromovilidad que regirá para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos.

Otra de las condiciones principales para potenciar este proceso es el interés y la intervención de las principales empresas de suministro de combustible como actor clave en la gestión y coordinación entre actores en temas regulatorios, financieros y de capacidad eléctrica, que serán temas que serán claves en el desarrollo de la red de recarga pública en EDS. Lo anterior se desarrolla bajo el concepto de que estas empresas, en su rol de suministradores de combustible, han manifestado su interés en integrar en su modelo de negocio el suministro de energía eléctrica.

De acuerdo con el Sistema de Información de Combustibles Líquidos (SICOM) del Ministerio de Minas y Energía, actualmente el país cuenta con más de 6,000 estaciones de servicio las cuales son abastecidas por más de 20 suministradores mayoristas de combustible. La figura a continuación muestra los principales actores del mercado, en función de la cantidad de estaciones de servicio que tienen en el país.

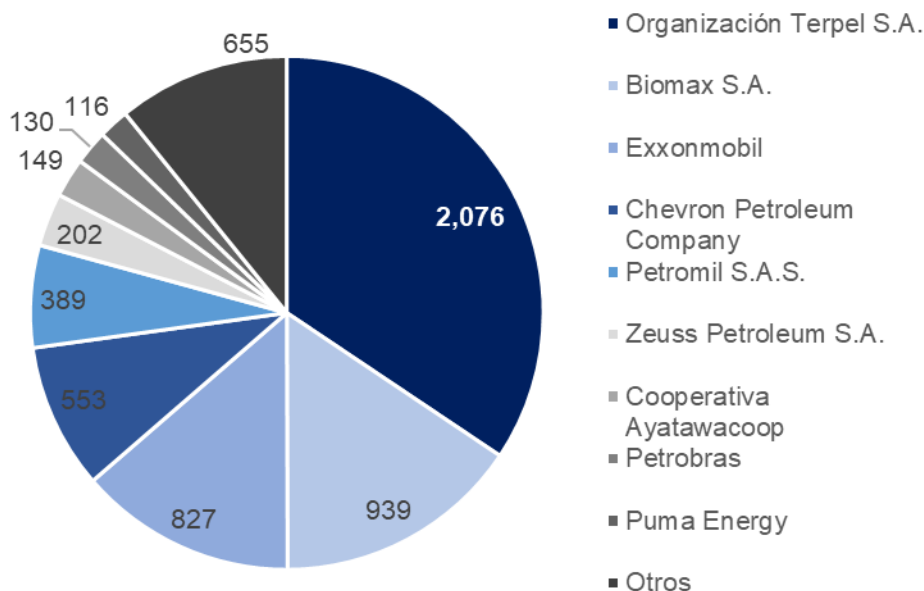


Figura 3-20. Número de estaciones de servicio por suministradores mayoristas de combustible (SICOM, 2019)

Una vez identificados los principales jugadores del mercado nacional, se analiza su presencia en cada una de las ciudades escogidas para el Proyecto. Así, se lograron validar que hay un total de 889 estaciones de servicio dentro del perímetro urbano de las ciudades de interés, lo cual, como será explicado más adelante en el documento, será de gran importancia en el desarrollo de la metodología para la selección de la ubicación de la infraestructura de carga.

Tabla 3-13. Estaciones de servicio (SICOM, 2019)

Mayorista Proveedor	Bogotá	Cali	Medellín	Ibagué	Pereira	Tunja	Total General
Biomax S.A.	77	10		3	11	7	<b>108</b>
Casamotor S.A.S.	1			3			<b>4</b>
Chevron Petroleum	65	30	22	8	6	1	<b>132</b>
Exxonmobil S.A.	132	55	42	9	11	5	<b>254</b>
Octano De Colombia S.A.	8						<b>8</b>
Organización Terpel S.A.	107	64	41	25	16	8	<b>261</b>
Petrobras S.A.	47	3			2	1	<b>53</b>
Petromil S.A.S.	5	2					<b>7</b>
Puma Energy S.A.S.	3						<b>3</b>
Zeuss Petroleum S.A.	2		14				<b>16</b>

Mayorista Proveedor	Bogotá	Cali	Medellín	Ibagué	Pereira	Tunja	Total General
Otros	35	10	3	2	1	2	53
<b>Total general</b>	<b>482</b>	<b>174</b>	<b>122</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>24</b>	<b>899</b>

### 3.5 CANTIDAD, TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA DE ESTACIONES REQUERIDAS EN PATIOS PARA MODOS DE CARGA URBANA Y BUSES PARA TRANSPORTE URBANO.

#### 3.5.1 Buses de transporte urbano

Para la estimación de la cantidad de estaciones de carga requeridas para satisfacer las proyecciones de los buses de transporte urbano, se considera una aproximación diferente a la utilizada en la estimación para vehículos particulares. En este caso, se tomó en cuenta los proyectos de electrificación de flota que tiene cada una de las ciudades a partir de las políticas públicas y del conocimiento y la experiencia del equipo consultor de transporte urbano. De acuerdo con lo anterior, se realiza la proyección de la entrada de buses eléctricos para los próximos 5 años y se calcula la cantidad de cargadores requeridos en patios para cada una de las ciudades escogidas, mediante la aplicación de la Ecuación 3-1. Este ejercicio tuvo en cuenta un análisis del mercado de buses eléctricos (BYD, Yutong, SUNWIN) para definir la capacidad de las baterías por cada una de las tipologías de buses, la autonomía que ofrecen los fabricantes, la potencia de las estaciones de carga que se han exigido en los procesos actuales de compra de los municipios o procesos de licitación y los kilómetros promedio que recorre cada una de las tipologías de bus.

Tabla 3-14. Cálculo del número de estaciones de carga por bus eléctrico

Ítem	Capacidad de Batería (kWh)	Autonomía de EV (km)	B/E Ratio	Distancia Promedio Recorrida Día (km)	Potencia consumida (kW)	Potencia Promedio de Cargadores (kW)	Horas de Carga (h)	Bus/ Cargadores
Articulados (160 pasajeros)	450	260	1.73	260	450.00	150	5 h	2.00
Buses (80 pasajeros)	345	260	1.32	180	238.85	150	5 h	3.00
Buseta (50 pasajeros)	250	260	0.96	180	173.08	150	5 h	4.00
Microbús (<50 pasajeros)	100	200	0.50	180	90.00	150	5 h	8.00

Adicionalmente, se realizó una comparación contra las proyecciones de la UPME con el objetivo de validar los supuestos actuales y poder reformularlos en estimaciones futuras. A continuación, se presenta para cada una de las ciudades los proyectos y las estimaciones respectivas:

• **Bogotá:**

- Licitación actual de la Fase 5 de Transmilenio que contempla la provisión y operación de 594 buses eléctricos (521 padrones y 73 busetones) a partir de 2020.
- Se requiere la renovación de 3,000 buses de la flota del SITP, de los cuales se espera que haya 360 busetones y 540 padrones, para un total de 900 buses eléctricos, lo cual correspondería al 30% de los vehículos previstos para este proyecto.
- Por último, la Fase 6 de Transmilenio, que contempla las troncales de la carrera 68, la Avenida Ciudad de Cali y la Carrera Séptima, estima un total de aproximadamente 1,200 articulados nuevos. De estos buses se asume que el 30% sean eléctricos y entre en operación en el 2022.

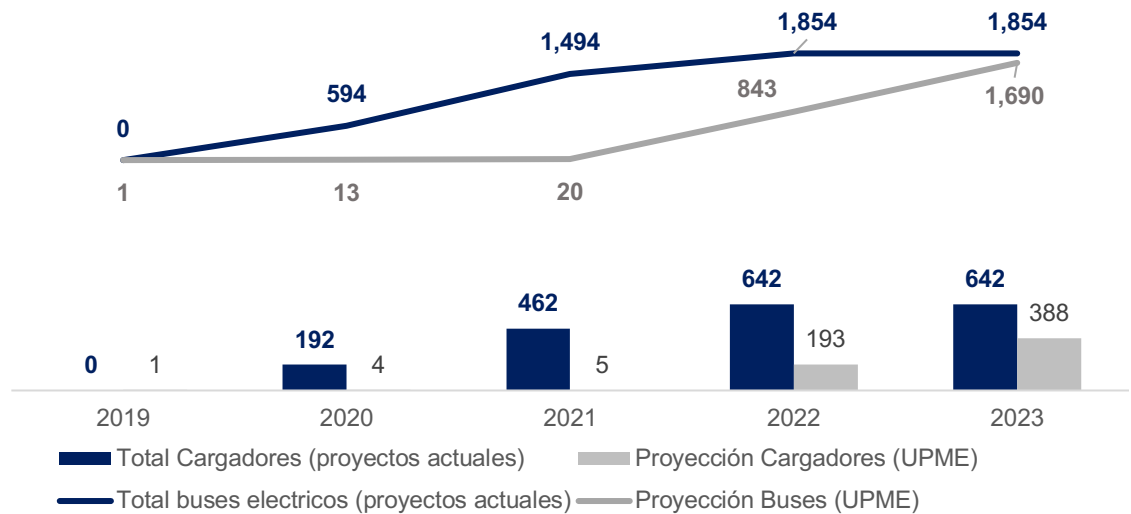


Figura 3-21. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Bogotá

• **Medellín**

- A finales de 2019 se espera que entren en operación los 64 buses eléctricos que fueron adquiridos por Metroplús.
- Actualmente el Área Metropolitana del Valle de Aburra se encuentra analizando las fórmulas para adelantar el proceso de modernización de la flota de transporte público colectivo del área metropolitana, la cual cuenta con 2,850 buses, de los cuales se espera que el 15% haga una transición hacia vehículos eléctricos a partir del 2021.

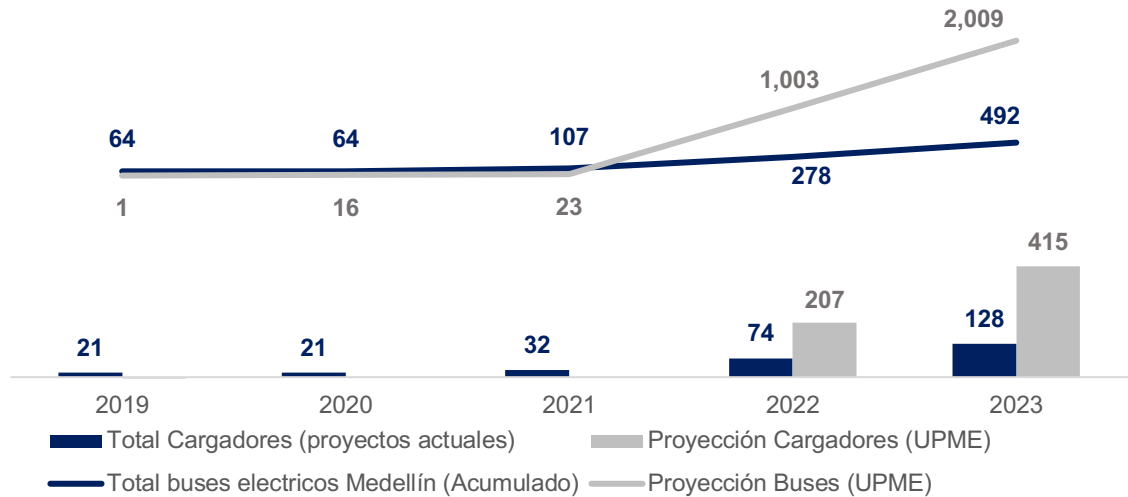


Figura 3-22. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Medellín.

• Cali

- En 2019 entraron en operación 26 busetones eléctricos adquiridos por el concesionario Blanco y Negro Masivo. Así mismo, se tiene previsto que el concesionario Unimetro debe poner en operación 110 busetones eléctricos en 2020. En adición, está pendiente una licitación para la provisión y operación de 109 busetones eléctricos para comenzar operación en 2021.

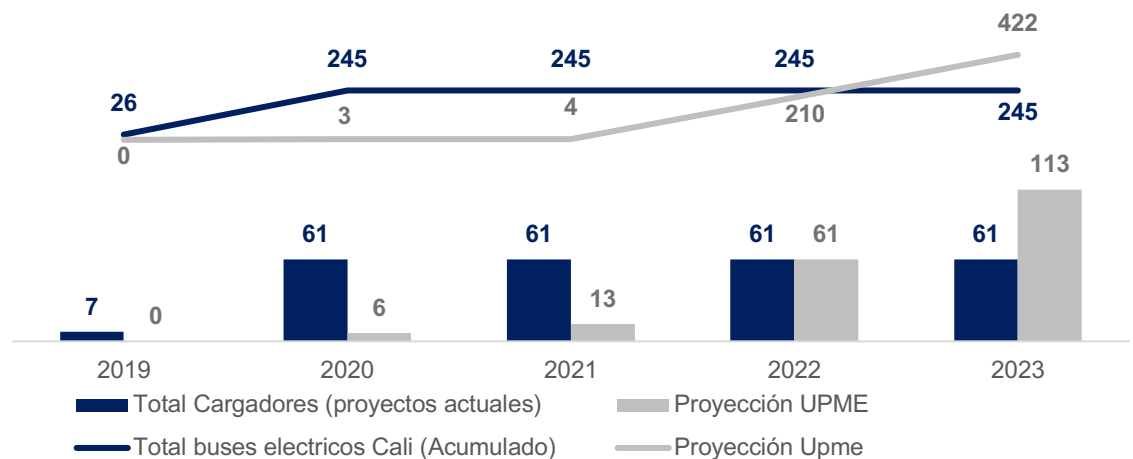


Figura 3-23. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Cali

• **Ciudades Intermedias**

Para el caso de las ciudades intermedias, el consultor se encuentra a la espera de respuesta por parte de las respectivas secretarías de movilidad de cada uno de los municipios con el objetivo de conocer la ruta de implementación de buses eléctricos en las ciudades. Ante lo anterior, y mientras se recibe respuesta oficial, para definir una cantidad preliminar de buses eléctricos se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- **Pereira:** La ciudad se encuentra en un proceso de modernización del transporte público colectivo, por lo cual, se estima que en este proceso de renovación como mínimo el 15% de los buses que hacen parte del TPC y los buses alimentadores y complementarios de Megabús serán eléctricos en los próximos 5 años. De acuerdo con esto, la ciudad debe contar con 146 buses eléctricos y se requiere que la ciudad disponga con 37 puntos de carga en patios para satisfacer los requerimientos de carga de la flota eléctrica.

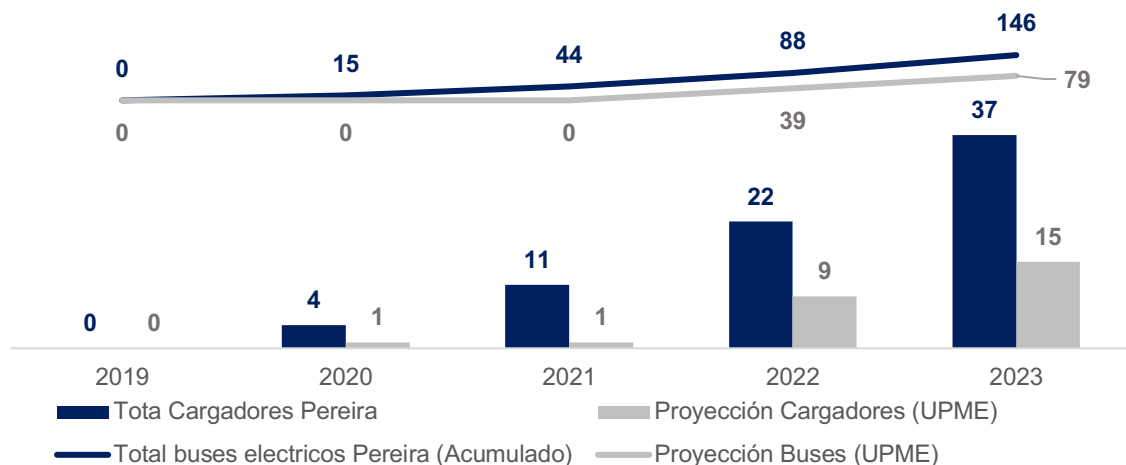


Figura 3-24. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Pereira.

- **Ibagué:** Actualmente la ciudad se encuentra en el proceso de adoptar el Sistema Estratégico de Transporte, en el cual se considera a la modernización de 608 vehículos los cuales serán a Diesel Euro Vi, GGNV y Eléctricos (Findeter, 2019). De acuerdo con las estimaciones del equipo consultor y a la división por etapas en las que se desarrolla el SETP, se asume que de estos 608 vehículos el 15% será eléctrico, los cuales serán adoptados progresivamente desde 2021. Es así, como se espera que para el 2023, Ibagué cuente con 92 buses eléctricos, 10 padrones y 82 Busetones, para lo cual requerirá que sus patios cuenten con un total de 24 puntos de carga.

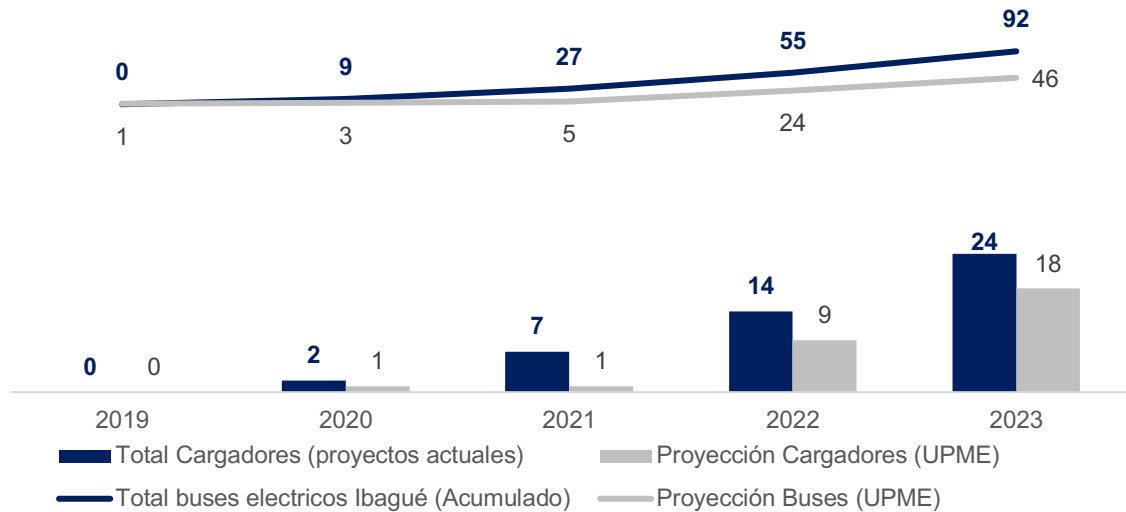


Figura 3-25. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Ibagué

- **Tunja:** Para el caso de esta ciudad se tiene muy poca información acerca del estado actual de la flota de buses de transporte público en la ciudad. A partir de los datos del RUNT y de los reportes de la Alcaldía Mayor de Tunja, esta cifra se estimó en 1,200, de los cuales, se espera que el 5% sea adecuada en los próximos años progresivamente a partir de 2021. Bajo este escenario, Tunja contaría con 60 buses eléctricos para lo cual requeriría la instalación de 15 puntos de carga en patios.

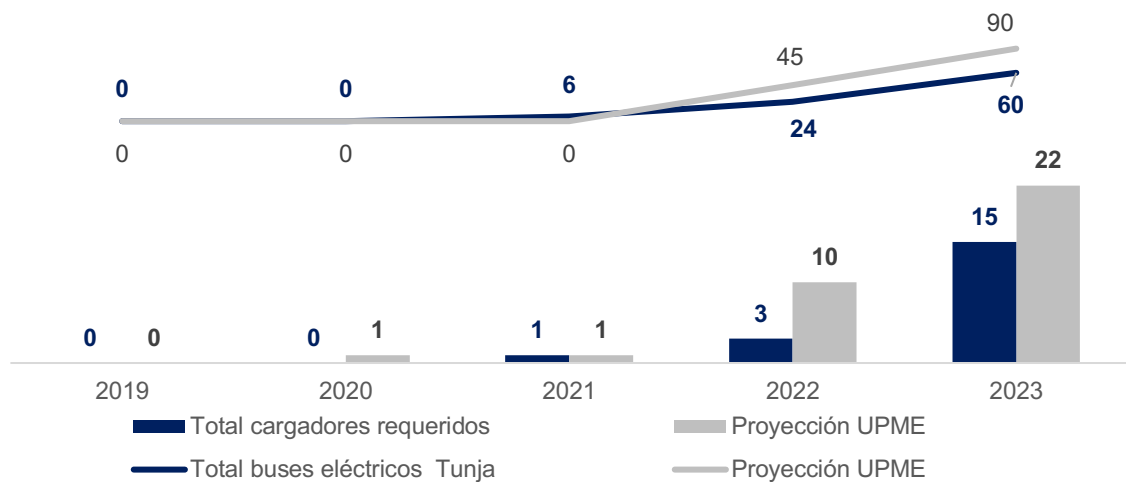


Figura 3-26. Total acumulado de buses eléctrico y estaciones de servicio en Tunja.



De esta manera, se estima que para el año 2023 se van a implementar 2,863 buses eléctricos en las ciudades escogidas. Este resultado preliminar se encuentra 51% por debajo de las estimaciones realizadas a partir de las proyecciones de la UPME. Se propone que estos cargadores sean instalados en los patios de los buses, lo cual requiere de estaciones con un nivel de potencia de como mínimo 150 kW, con el objetivo de poder recargar los buses en menos de 5 horas.

De acuerdo con lo manifestado por los fabricantes de buses eléctricos durante el Taller<sup>12</sup>, en el mediano plazo no considera viable la implementación de puntos de recarga intermedios en las rutas de transporte público, debido a los altos costos de esta infraestructura, (se requiere carga ultrarrápida - 30 min) y a problemas de seguridad en espacio público que crea un fuerte riesgo ante el nivel de inversión.

### 3.5.2 Vehículos de carga urbana

En el caso de los camiones de carga urbana, para calcular la flota en cada una de las 6 ciudades se tuvo en cuenta la misma metodología que se utilizó en los vehículos particulares, en la cual, partiendo del porcentaje de la distribución geográfica de la flota de camiones en el país, se calculan las proyecciones de la entrada de camiones de carga urbana eléctricos para cada una de las ciudades.

Este ejercicio se completó con el cálculo de la relación de estaciones de carga respecto a la cantidad de camiones eléctricos en la ciudad (Ecuación 3-1), a partir de un análisis del mercado para definir la capacidad de las baterías teniendo en cuenta la oferta actual del mercado, la autonomía que ofrecen los fabricantes y los kilómetros promedio que recorre cada una de las tipologías de camión. En este punto, es importante aclarar, que el número de estaciones de carga dependerá de la autonomía de los vehículos y de la capacidad de la batería.

Tabla 3-15. Cálculo del número de estaciones de carga por bus eléctrico

		Autonomía (km)			
Recorrido promedio 180km		100	200	300	400
Capacidad Batería (kWh)	110	6	12	18	24
	212	3	6	9	13
	300	2	4	7	9
	480	1	3	4	6

Se decidió llevar a cabo el análisis considerando el promedio de la relación de número de EVSE por EV, que es de 1 EVSE por cada 8 vehículos de carga

<sup>12</sup> Taller con los actores claves del mercado, realizado en la UPME el día 22 de octubre dividido en dos secciones, la primera sección se realizó con las empresas suministradoras de combustibles y energía (TERPEL – CELSIA) de 8:30 a.m. a 12:00 m. La segunda sesión se realizó junto a los fabricantes de vehículos y cargadores (Renault – SUNWIN – BYD – Engie – ABB) de 2:00 p.m. a 6:00 p.m.

eléctricos, teniendo en cuenta las diferentes autonomías ofrecidas en el mercado. Así, se encontraron los siguientes resultados:

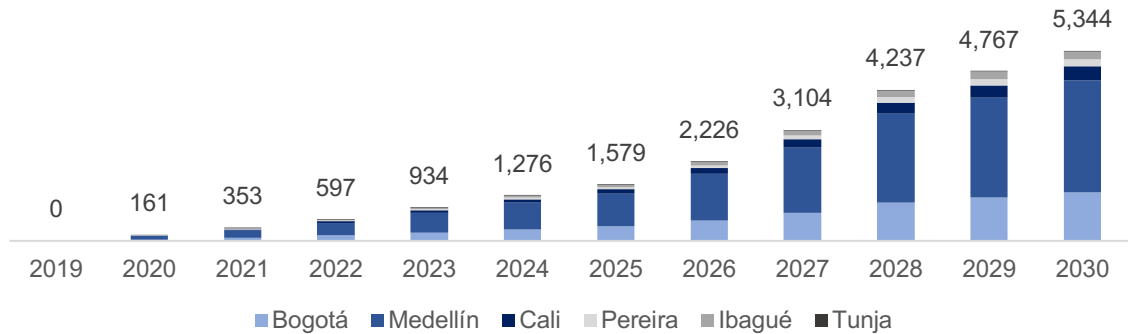


Figura 3-27. Número de camiones eléctricos de carga urbana en las ciudades de interés.

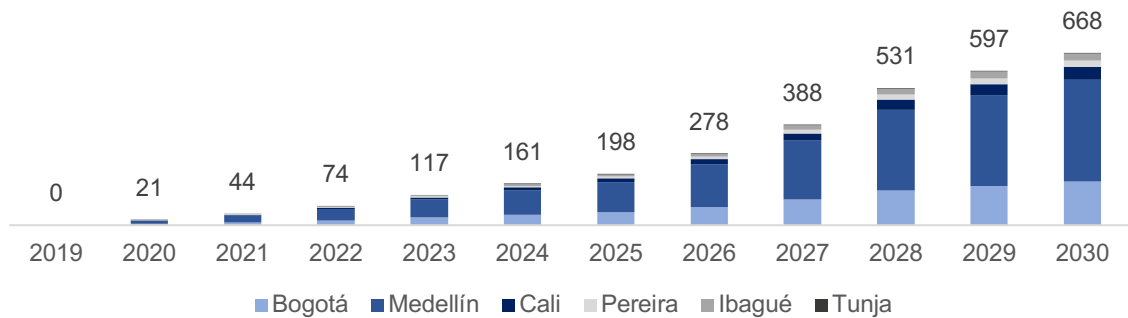


Figura 3-28. Estaciones de carga para camiones urbanos de carga en las ciudades de interés

Las proyecciones evidencian que para 2030 el país contaría con 20,265 camiones de carga urbana, lo cual representa el 7.87% sobre el total de camiones de carga urbana registrados en el país. Para el caso de las ciudades de interés, se estima que la entrada de 5,344 camiones requerirá 668 estaciones de recarga, en donde el 59% deberá estar ubicado en el Valle de Aburrá, el 25%, en la ciudad de Bogotá, y el 7.3% en la ciudad de Medellín. De acuerdo con estas proyecciones, para el año 2023 se proyecta la entrada anual de 20 a 40 unidades de carga. De esta manera, desde 2023 se requeriría que cada año se realizara la instalación en promedio de 80 estaciones de carga.

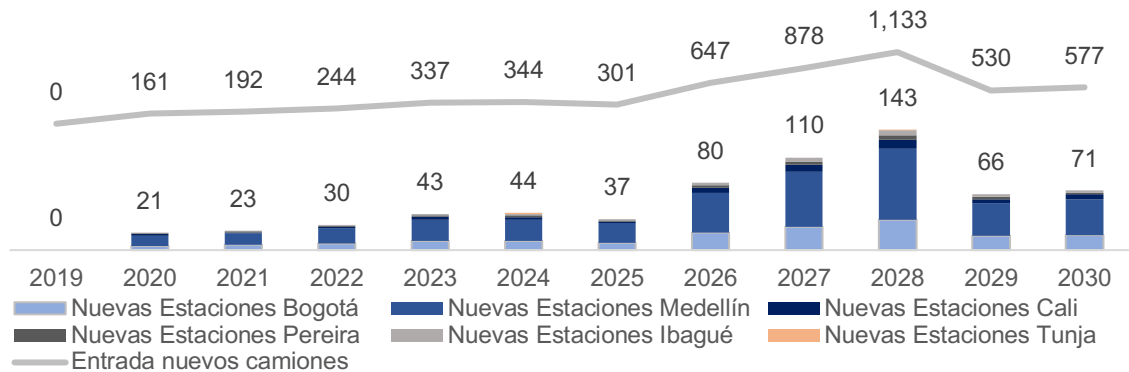


Figura 3-29. Entrada de nuevos camiones eléctricos de carga urbana y de estaciones de carga para las ciudades de interés

### 3.6 METODOLOGÍA DETALLADA PARA LA SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE PUNTOS DE RECARGA CON BASE A SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (TIPO DE CONECTOR, NIVEL DE CARGA Y POTENCIA REQUERIDA) Y VARIABLES EXÓGENAS ENTRE LAS CUALES PODRÁN ESTAR: VARIABLES DEMOGRÁFICAS, ACCESO A RED ELÉCTRICA EN LAS POTENCIAS REQUERIDAS, CERCANÍA A VÍAS PRINCIPALES, ETC., CON EJEMPLO DE APLICACIÓN A UNO DE LOS CASOS DE USO O CIUDAD PRINCIPAL.

La metodología descrita en esta sección se basa en la hipótesis de que los conductores de vehículos eléctricos en áreas urbanas serán una parte integral de una ciudad inteligente y sus necesidades de recarga se pueden acomodar dentro de un enfoque de planificación urbana, la cual permita el desarrollo de una red de puntos de recarga óptima para cumplir con los objetivos de penetración de los vehículos eléctricos. Así, esta metodología, intenta resolver el problema de la asignación óptima de la infraestructura de recarga donde se consideran variables demográficas, de transporte, catastrales (uso suelo), pero, también dirige especial atención a los retos que enfrenta la masificación de los vehículos eléctricos sobre las redes de distribución y las instalaciones eléctricas internas, tanto en espacios públicos como privados. Lo anterior, se argumenta en que los vehículos eléctricos deben ser considerados más allá de un nuevo electrodoméstico, ya que a medida que vaya creciendo el parque automotor eléctrico habrá una gran carga agregada a la red eléctrica de las ciudades.

Es así, como la metodología tiene como uno de sus ejes centrales la identificación de la capacidad de la red, las consideraciones para la instalación de puntos de carga (lenta o rápida) y la calidad de la potencia, entre otras. En este punto, es importante señalar que la metodología depende de datos geoespaciales publicados por autoridades locales y las entidades específicas en temas de transporte (secretarías de movilidad), energía (UPME) y planeación urbana (Catastro y planeación distrital), y la información publicada por las empresas de suministro eléctrico bajo la resolución de la CREG 030 de 2018. Este enfoque se pensó para garantizar un

mayor uso y aplicabilidad dado la facilidad de acceso a las herramientas de código abierto SIG como ArcGis. La siguiente figura muestra la estructura de la metodología, la cual se construyó con base en el estudio de Guo, Yang, y Yang (2018) sobre la ubicación óptima de estaciones de carga en ciudades con limitaciones de espacio.

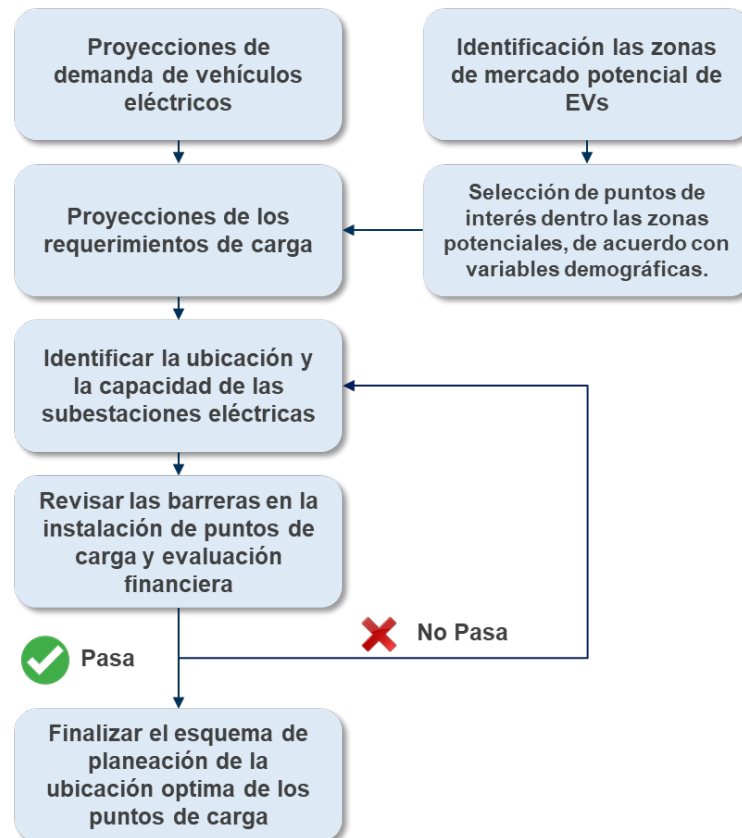


Figura 3-30. Estructura Metodología

### 3.6.1 Determinar la ubicación potencial de los puntos de carga

De acuerdo con metodología establecida, la definición de un esquema de ubicación para las estaciones de carga depende de las siguientes variables de entrada:

- i) Las proyecciones de penetración de los vehículos eléctricos y los requerimientos de estaciones de carga, de acuerdo con lo establecido en las anteriores secciones; y
- ii) La definición de los puntos de interés que influyen en el potencial uso de las estaciones de carga, a partir de la caracterización de las ciudades (características demográficas, económicas y relacionadas con el transporte).

En este segundo punto, se parte de los estudios de De Gennaro, Paffumi, y Martin (2015) Gkatzoflias y otros, (2016), Andrenacci, Ragona, & Valenti (2016) y Morrissey,

Weldon & O'Mahony (2016), los cuales, desde un enfoque de investigación del comportamiento de los usuarios y el análisis de las rutas vehiculares, determinaron que los lugares más apropiados para la ubicación de las estaciones son aquellas áreas donde se agrupan los lugares visitados con mayor frecuencia, como por ejemplo los parqueaderos, estaciones de servicio, aeropuertos, universidades, museos y centros comerciales. Con base en lo anterior, se presenta de manera preliminar para la ciudad de Bogotá la identificación de los puntos de interés para el despliegue de puntos de carga.

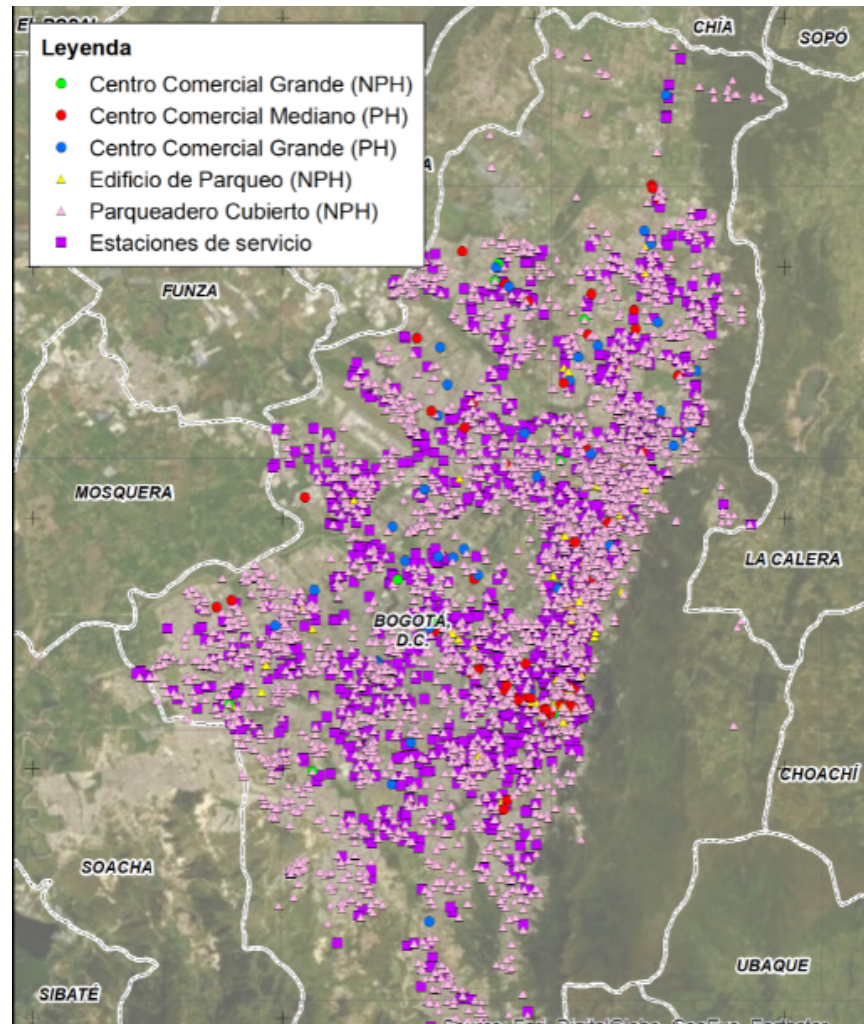


Figura 3-31. Puntos de interés para puntos de carga en Bogotá

Además de la localización de los puntos de interés, se realizó un filtro de las zonas de las ciudades en las que se considera que se podrá desarrollar un mercado de vehículos eléctricos, a partir de las zonas de mayor densidad poblacional, los estratos de mayor poder adquisitivo de la ciudad, los viajes origen destino de los ciudadanos de acuerdo con la actividad empresarial e industrial de la ciudad.

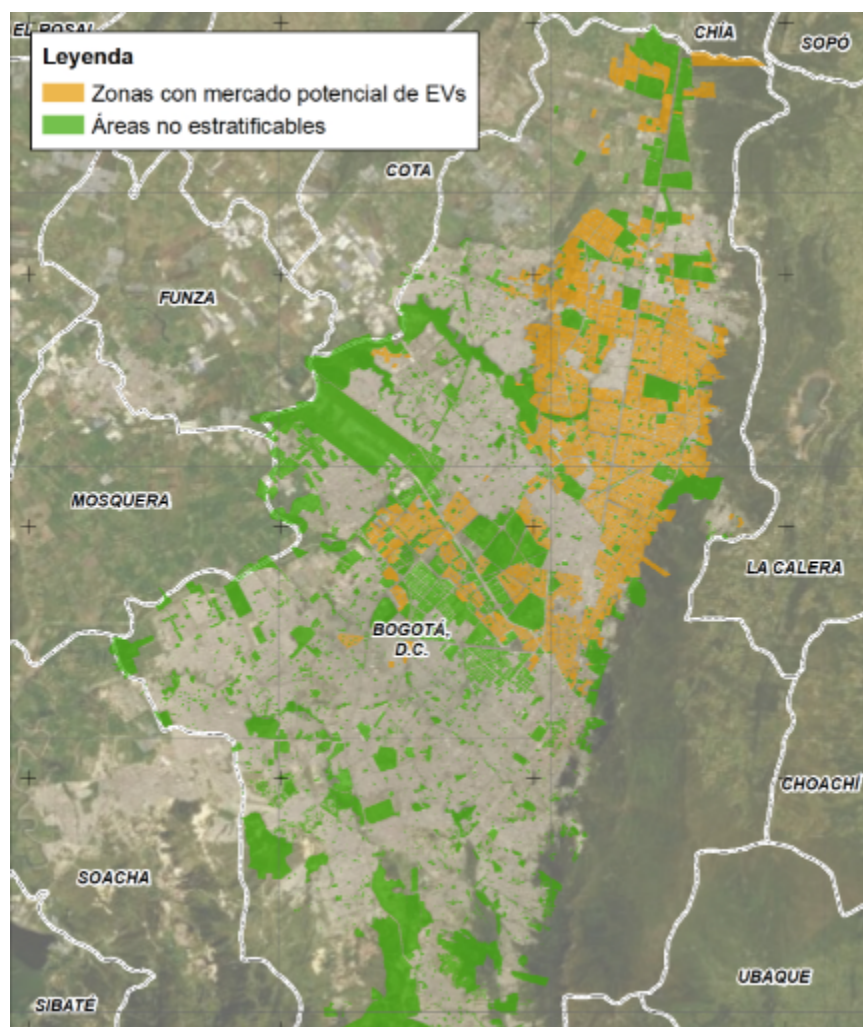


Figura 3-32. Zona de Bogotá para el desarrollo potencial del mercado de vehículos eléctricos.

Lo anterior, permite delimitar la ubicación de las estaciones de carga desde la óptica de la demanda, sin embargo, desde la óptica de la oferta, la variable crítica es la capacidad de suministro de la red eléctrica.

A partir de las zonas con potencial de mercado de EVs en Bogotá, se filtraron los puntos de interés para obtener una vista de los lugares con potencial de instalación.

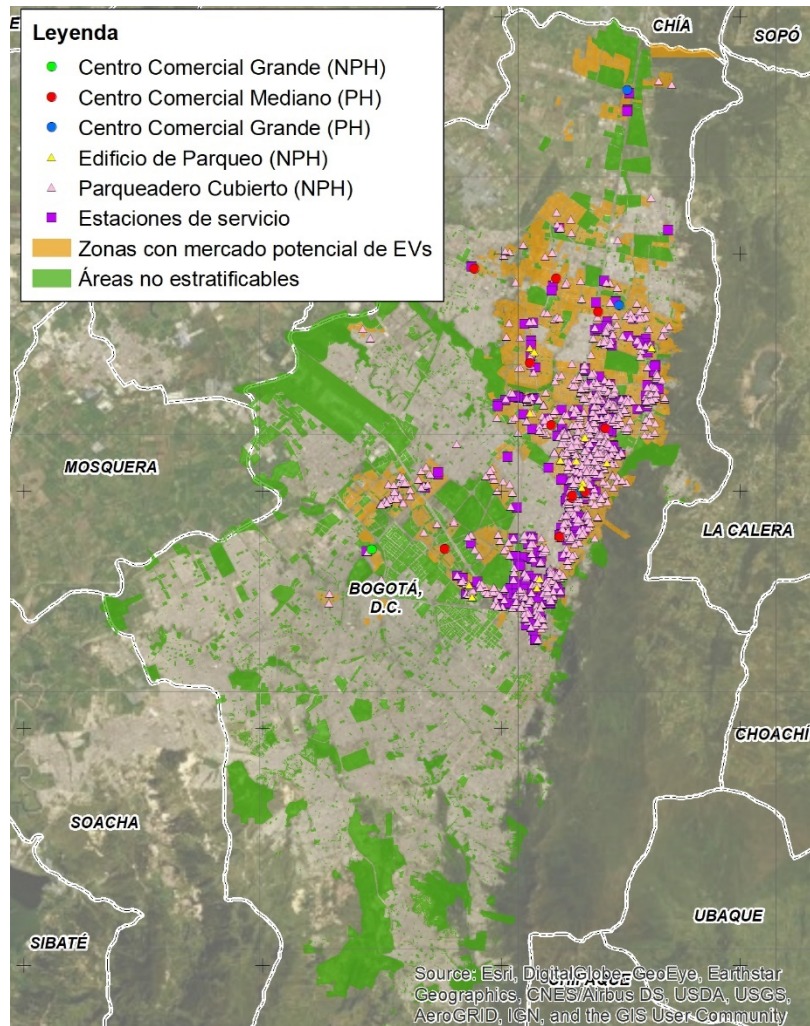


Figura 3-33. Puntos de interés para instalación de puntos de carga en zonas con mercado potencial de EVs.

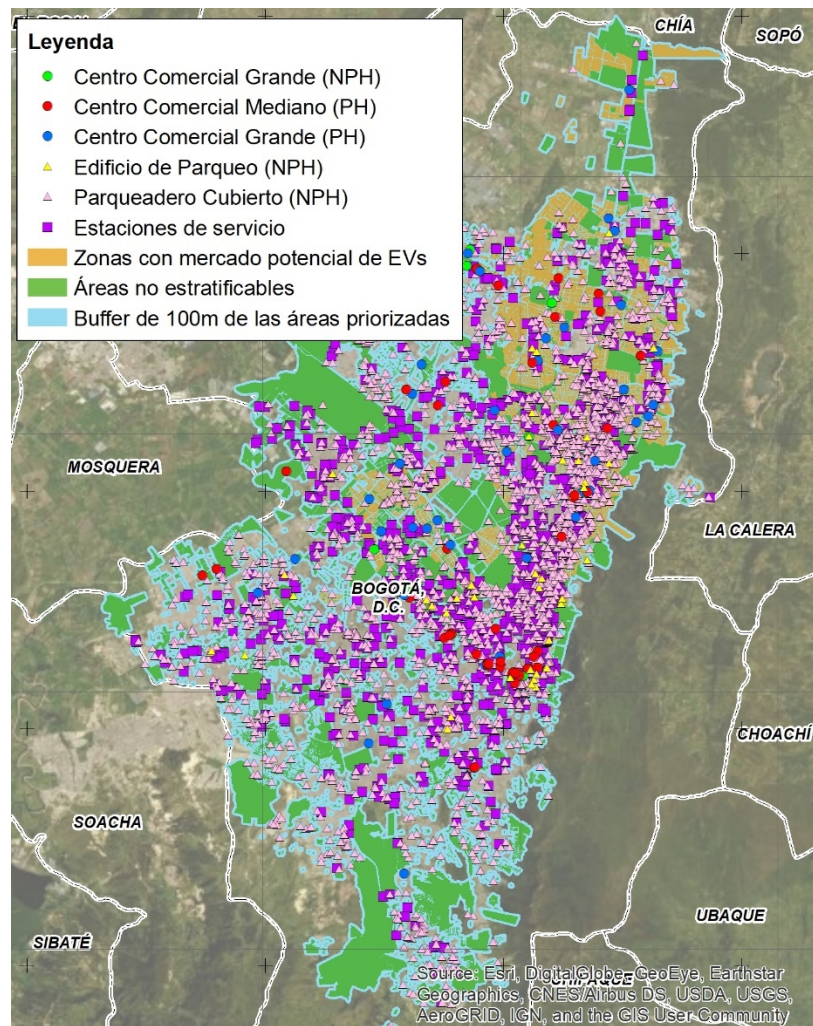


Figura 3-34. Puntos de interés para instalación de puntos de carga en zonas con mercado potencial de EVs y áreas no estratificables con buffer de 100 m.

Una vez filtrado los puntos de interés a las zonas con mercado potencial de EVs, se realiza el filtro sobre la densidad poblacional en la ciudad de Bogotá, con el fin de determinar las zonas donde de mayor concentración de habitantes y que potencialmente requerirían mayor cantidad de puntos de carga.

A partir de las zonas de interés y considerando la variable de densidad poblacional, se podrán seleccionar las zonas donde haya mayor cantidad de habitantes, que cuente con mayor número de puntos de interés y donde se intercepte será una zona potencial para la instalación de puntos de carga.



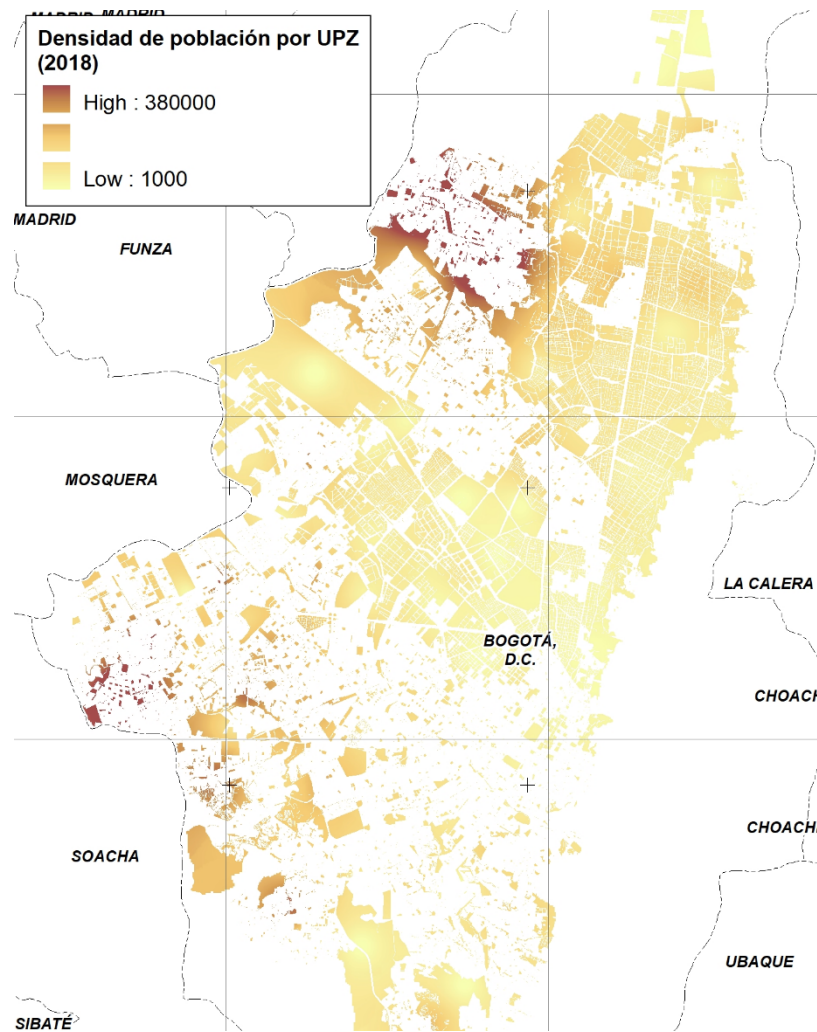


Figura 3-35. Densidad poblacional en zonas con mercado potencial de EVs.

Tomando como referencia el estudio realizado por Gkatzoflias(2016), se plantea que la base para la ubicación potencial de estaciones eléctricas es la capacidad de la red eléctrica y la ubicación de los circuitos, transformadores y subestaciones eléctricas. Como ejemplo para el caso de Bogotá, se toma la zona del CAN la cual concentra una gran cantidad de viajes en la ciudad, cuenta con instituciones gubernamentales (Ministerios, DANE, Contraloría), hospitales y oficinas del sector privado. Además de encontrarse dentro de la zona con mercado potencial de EVs, cuenta con puntos de interés como centros comerciales, parqueaderos públicos y EDS cercanas y tiene una densidad poblacional media lo cual la convierte en un área de alto potencial para la instalación de electrolineras.

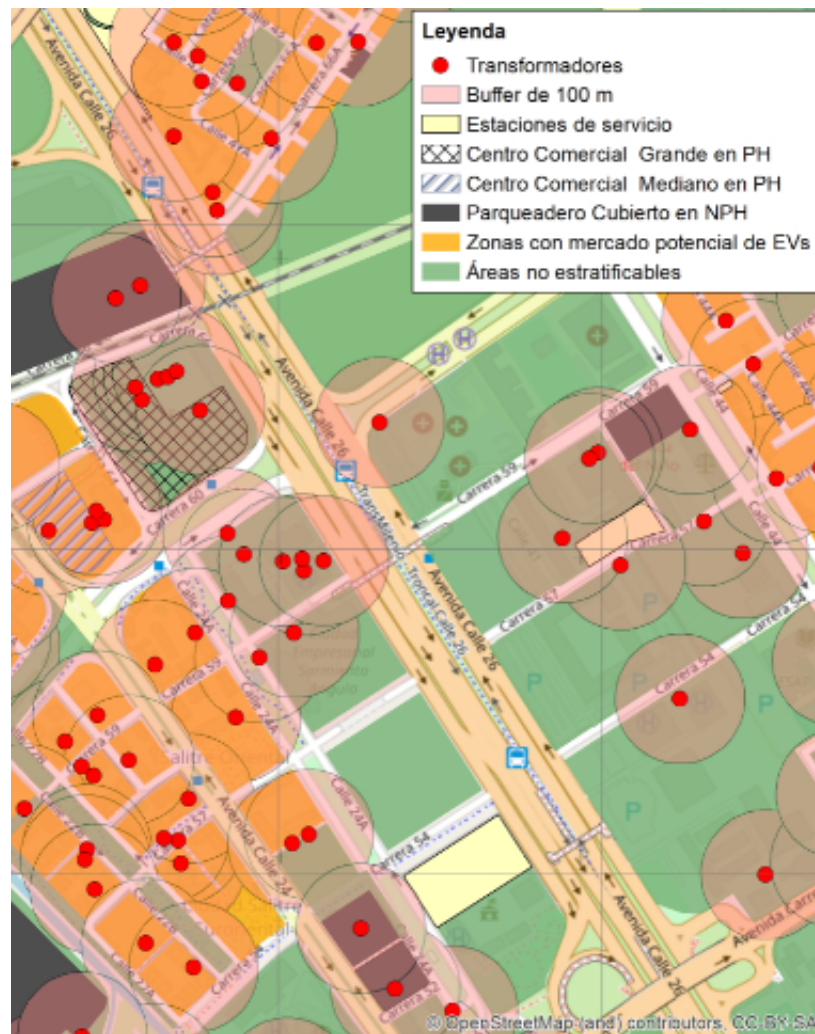


Figura 3-36. Análisis de ubicación de estaciones de carga: Caso Bogotá.

A partir de la identificación de los lugares potenciales para la instalación de los puntos de carga (parqueaderos, centros comerciales y estaciones de servicio), se toma la información publicada por Enel-Codensa bajo la resolución CREG 030 de 2018, que permite obtener la ubicación de las subestaciones eléctricas. Una vez se identifican estos puntos se lleva a cabo el proceso de “buffering”, con el objetivo indicar un área efectiva de conexión con los circuitos que conectan las subestaciones de la red.

De esta manera, la identificación de los puntos de interés que se encuentre a una corta distancia de estas subestaciones, son considerados como puntos potenciales para la ubicación de puntos o estaciones de carga pública para vehículos eléctricos. Este proceso se completa a partir de la identificación de la potencia requerida, la capacidad y disponibilidad de cada una de estas subestaciones y el establecimiento de las cargas máximas de las estaciones de carga.

Para el caso del transporte público, debido a la necesidad de minimizar los kilómetros en vacío, se asume que la ubicación ideal de los cargadores eléctricos es en los patios y talleres de los buses, los cuales, por lo general, se encuentran a las afueras de las ciudades, cerca de las estaciones y portales del transporte masivo y/o al final de las rutas de los buses.

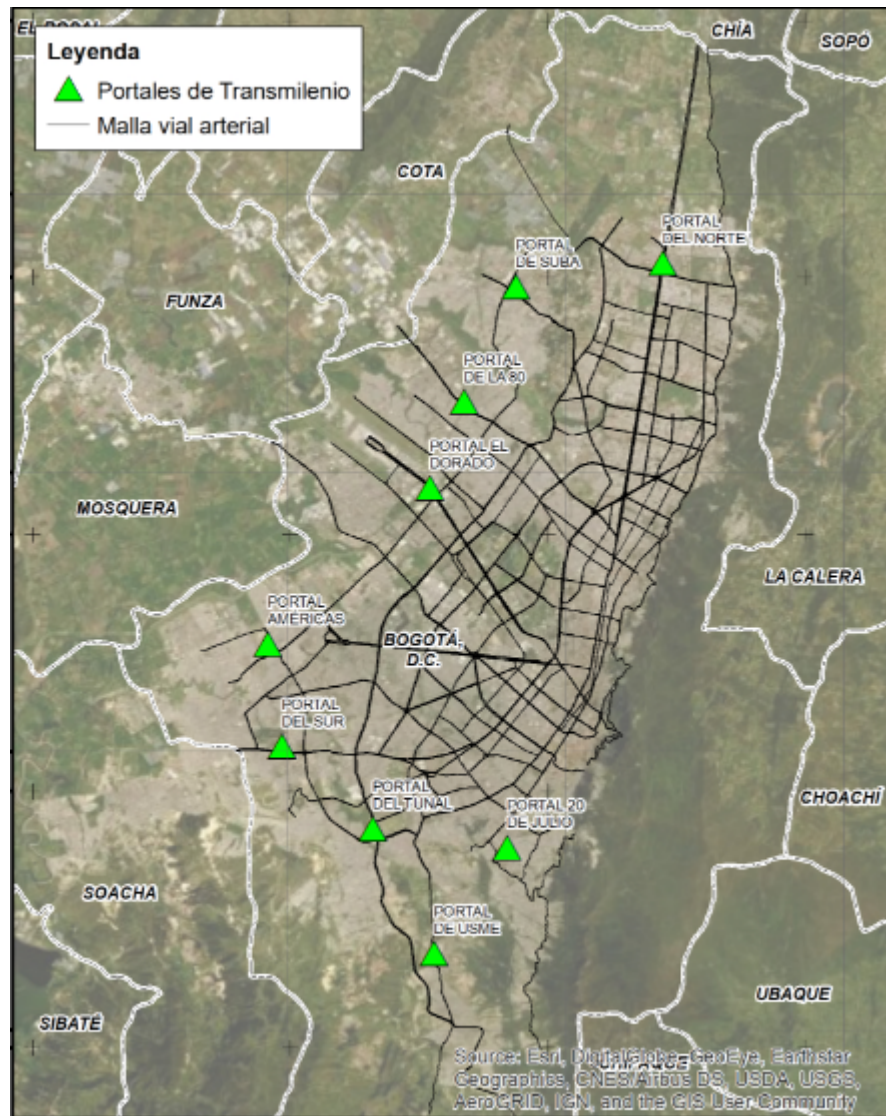


Figura 3-37. Ubicación potencial de cargadores para el transporte urbano

Una vez identificados los puntos potenciales para el despliegue de los puntos de carga, al igual que con los puntos de carga para vehículos particulares, se deben ubicar las subestaciones eléctricas próximas a estos puntos y determinar su capacidad para la conexión de los puntos de carga (requerido por la flota de buses eléctricos) y la red eléctrica.

### 3.6.2 Revisar las barreras de la instalación de los puntos de carga y evaluación financiera

Con la definición potencial de la ubicación de la infraestructura de carga, se continúa con un proceso de evaluación de la factibilidad, en el cual se tiene en cuenta los siguientes puntos:

- La verificación de la racionalidad del esquema de resultados y el impacto sobre la red eléctrica. En este punto, Enel-Codensa publica la capacidad de cada uno de los transformadores lo cual permite saber si la ubicación potencial cuenta con el soporte en capacidad de la red eléctrica y su posible conexión a la red. En caso de no contar con la potencia requerida, se deben analizar alternativas de conexión a varios circuitos y transformadores de la red.
- Análisis de las restricciones de las fuentes de suministro, debido a que las estaciones de carga generalmente se suministran a 10 kW, la fuente de suministro debe tener suficiente capacidad de reserva e intervalo de salida.
- Evaluación del alcance de las subestaciones eléctricas de acuerdo con los estándares de la red distribuida de la ciudad. En este punto, se identifica las adecuaciones que se deben hacer en las conexiones de los puntos de carga y los circuitos eléctricos.
- Evaluación de la propiedad de la tierra del corredor de suministro. Debido a la creciente escasez de terrenos urbanos, el corredor de suministro de energía se convierte en una de las limitaciones severas en la construcción de la infraestructura de carga.

Una vez se logró desarrollar esta evaluación, se procede a presentar la propuesta final de la ubicación óptima de los puntos de carga, la cual debe tener en cuenta una evaluación financiera. Este análisis deberá tener en cuenta las inversiones de la infraestructura de carga (Obra eléctrica, obra civil, cargadores, equipos eléctricos, etc.) y sus respectivas condiciones de financiación, los costos de operación y mantenimiento (OPEX), y el cálculo de la tarifa necesaria a los usuarios para lograr el cierre financiero del proyecto. La metodología propuesta para la verificación y/o determinación de las condiciones necesarias para la viabilidad financiera se desarrolla en el último capítulo del presente informe.

Si el análisis financiero del proyecto de carga arroja una rentabilidad aceptable por el inversionista y si es factible el proyecto en términos técnicos (existe soporte en capacidad de la red), es posible proceder con la instalación de los puntos de carga en la ubicación seleccionada. En el caso contrario, se deberá reformular la ubicación de los cargadores buscando la reducción de inversiones y costos y llevando a cabo nuevamente este proceso.

#### 4 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA REQUERIDA PARA EL DESPLIEGUE DE ELECTROLINERAS EN VÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS A LO LARGO DEL PAÍS.

##### 4.1 ANÁLISIS SOBRE EL POTENCIAL DE INSTALACIÓN DE ELECTROLINERAS EN CARRETERAS NACIONALES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS, INCLUYENDO CANTIDAD, TIPO DE ELECTROLINERA, TIPO DE USUARIO (PARTICULAR, CARGA, ETC.), NIVEL DE CONEXIÓN, TIPO DE CONECTOR, DISTANCIA ENTRE ELECTROLINERAS, ENTRE OTRAS.

Para el desarrollo de este numeral, no se tendrán en cuenta los vehículos de carga y pasajeros interurbanos, debido a que las proyecciones de EVs de la UPME no contempla crecimiento en este tipo de vehículos, por lo que se enfocará en vehículos particulares.

##### 4.1.1 Cálculo De Distancia Entre Electrolineras Para Vehículos Particulares

Para el cálculo de distancia entre electrolineras en vías primarias y secundarias, se parte del estudio de Antonio Santos (Colmenar, de Palacio, Borge-Díaz, & Monzón-Alejandro, 2014) con el cual calculan la distancia mínima para infraestructura de carga en vías interurbanas para España.

En el estudio determinan que la distancia mínima debe ser la autonomía mínima de los vehículos comercializados en el país, multiplicado por unos factores que afectan la autonomía, tales como temperatura, tipo de manejo, tipo de terreno, velocidad promedio, entre otros.

$$D_m = A_m \cdot [1 - (M_w + k \cdot M_f)]$$

Ecuación 4-1. Cálculo de distancia mínima entre electrolineras.

Donde  $D_m$  representa la distancia mínima entre electrolineras,  $A_m$  es la autonomía mínima de los vehículos comercializados en Colombia,  $M_w$  es el factor por temperatura,  $k$  es el factor de simultaneidad y  $M_f$  es el factor de flexibilidad.

Las condiciones climáticas afectan la autonomía de los vehículos de manera que habría que establecer diferentes escenarios debido a las condiciones climáticas en Colombia que abarcan desde temperaturas medias  $<8^{\circ}\text{C}$  hasta  $>30^{\circ}\text{C}$  (Peraza, 2014).

Tabla 4-1. Factor por temperatura ( $M_w$ ) dependiendo de las condiciones climáticas.

Requerimiento de Calefacción por $T > 10^{\circ}\text{C}$	Requerimiento de A/C por $T < 25^{\circ}\text{C}$	Requerimiento de A/C por $25^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	Requerimiento de A/C por $T > 30^{\circ}\text{C}$
0%	0%	10%	30%

Colombia, por contar con diferentes altitudes y pisos térmicos, debe tener en cuenta la región del país para aplicar el factor por clima.

El factor de flexibilidad debe tener en cuenta la vía y las condiciones de tráfico, el estilo de conducción y los patrones de carga. Otro input es la influencia de conducir en carretera, debido a que la autonomía oficial de los EVs disminuye bajo estas condiciones.  $M_f$  por lo tanto deberá ser por lo menos el factor de disminución por conducir en carretera.

Tabla 4-2. Factor de Flexibilidad por Velocidad en Carretera.

### Factor de Flexibilidad

Velocidad en Carretera	Valor Estimado de $M_f$	Factor Conducción Agresiva (+ $M_f$ )	Factor por Terreno Montañoso (+ $M_f$ )	Factor Alto Tráfico (+ $M_f$ )
<70 km/h	10%	5%	10%	5%
70 km/h	15%			
80 km/h	20%			
90 km/h	25%			

El factor de simultaneidad “ $k$ ” considera la coincidencia de las condiciones climáticas junto con los factores de flexibilidad. Este factor dependerá de la zona geográfica, sin embargo, considerando el peor escenario, podrá tener un valor de 1.

La autonomía promedio de los EVs comercializados en Colombia es de 315 km<sup>13</sup>, pero tomando el vehículo con menor autonomía que es el BMW i3 con 250 km en uso mixto, se tendrá una autonomía para efectos de cálculos de 200 km, teniendo en cuenta que el conductor no esperará a quedar con 0% de batería para buscar recargar y el uso en carretera disminuye la autonomía.

Se considerarán diferentes escenarios para la evaluación de la distancia mínima según la zona geográfica de Colombia.

Se considerarán las siguientes rutas:

Tabla 4-3. Rutas seleccionadas para la evaluación de la metodología.

Ciudad Inicio	Ciudad Destino	Longitud vía [km]	Altitud Max [msnm]	Altitud Min [msnm]	Tipo de ruta	Temperatura Mínima [°C]	Temperatura Máxima [°C]
Bogotá	Tunja	139	2775	2600	Plano	12	15
Bogotá	Medellín	415	2600	217	Montaña	12	28
Cartagena	Barranquilla	133	110	0	Plano	28	32

<sup>13</sup> No se tiene en cuenta el Renault Twizy para efectos del cálculo, debido a que es un vehículo exclusivamente urbano.

Se escogieron estas rutas debido a que cubren tres tipos de trayectos en carreteras nacionales, la primera ruta (Bogotá – Tunja) es en montaña, pero no cuenta con cambios en altitud considerables, siendo una vía relativamente plana, con temperaturas bajas y una velocidad promedio que no supera los 60 km/h. La ruta Bogotá - Medellín es la más exigente, debido a la diferencia en temperaturas y en altitudes. La última es lo opuesto, no es montañosa, pero sus temperaturas son elevadas y la velocidad promedio es mayor a 60 km/h.

Se calculará el peor escenario, considerando alto tráfico en vía y conducción agresiva, el factor por montaña se usará únicamente en la ruta Bogotá – Medellín que cuenta con diferencia de altitudes mayores a 500 m.

Al calcular para cada una de las rutas, se obtiene lo siguiente:

*Tabla 4-4. Cálculo de distancia entre estaciones de carga en carreteras nacionales para diferentes rutas.*

	Bogotá - Tunja	Cartagena - Barranquilla	Bogotá - Medellín
$M_w$	0%	10%	10%
$M_f$	35%	35%	45%
$K$	1	1	1
Dm (km)	130	110	90

Por lo tanto, la distancia máxima entre electrolinerías en el peor escenario es de 90 km, que corresponde al escenario de la vía Bogotá - Medellín. La mayor afectación es presentada por el terreno montañoso y uso de aire acondicionado en algunos sectores.

#### 4.1.2 Cantidad de electrolinerías en rutas seleccionadas

La cantidad de electrolinerías en las vías nacionales dependerá de la longitud de las vías, y de la topografía de éstas para poder establecer la distancia máxima entre electrolinerías. En el numeral anterior, se establecieron tres casos que representan una gran parte del territorio colombiano donde se obtienen 90, 110 y 130 km entre electrolinerías.

Ahora bien, esta metodología será aplicada a las rutas que conectan las ciudades seleccionadas anteriormente, que corresponde a Bogotá, Medellín, Cali, Ibagué, Pereira y Tunja. Adicionalmente, se aplicará a la ruta Cartagena – Barranquilla y así determinar el número de electrolinerías requeridas dependiendo de la topografía de la vía.

A continuación, se presentan las altimetrías, junto con las temperaturas medias dependiendo de la altura para las rutas que conectan las ciudades mencionadas anteriormente:

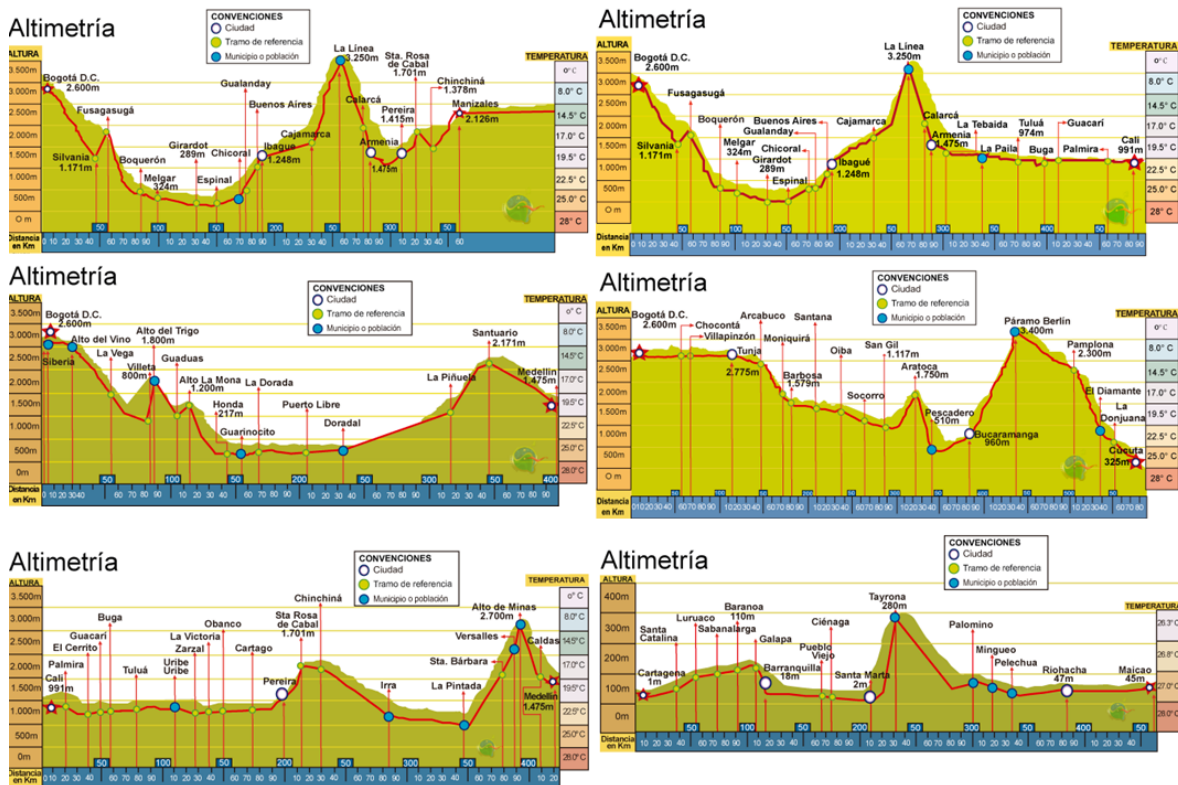


Figura 4-1. Altimetrías para las diferentes rutas seleccionadas. (Destinos y Planes, 2019)

Realizando un análisis de las altimetrías para cada ruta, se pueden determinar los factores que afectan la autonomía de los vehículos, quedando consignados de la siguiente forma:

Ciudad Inicio	Ciudad Destino	Altitud Máx. [msnm]	Altitud Mín. [msnm]	Tipo de ruta	Temperatura Mínima [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Factor por Temperatura (M <sub>w</sub> )	Factor de Flexibilidad (M <sub>r</sub> )
Bogotá	Ibagué	2,600	289	Montaña	12	28	10%	45%
Bogotá	Tunja	2,775	2,600	Plano	12	15	0%	35%
Bogotá	Medellín	2,600	217	Montaña	12	28	10%	45%
Medellín	Pereira	2,700	500	Montaña	12	25	0%	45%
Ibagué	Pereira	3,250	1,248	Montaña	8	20	0%	45%
Pereira	Cali	1,415	991	Plano	19	23	0%	35%
Ibagué	Cali	3,250	1,248	Montaña	8	23	0%	45%
Cartagena	Barranquilla	110	0	Plano	28	30	10%	35%

Aplicando los resultados obtenidos a las rutas que conectan las ciudades seleccionadas en numerales anteriores, se obtendría lo siguiente:





Tabla 4-5. Número de electrolinerías entre ciudades seleccionadas.

Ciudad Inicio	Ciudad Destino	Longitud vía [km]	Distancia máxima entre electrolinerías [km]	No. Electrolinerías
Bogotá	Ibagué	154	90	3
Bogotá	Tunja	120	130	2
Bogotá	Medellín	388	90	6
Medellín	Pereira	174	110	3
Ibagué	Pereira	186	110	3
Pereira	Cali	188	130	3
Ibagué	Cali	223	110	4
Cartagena	Barranquilla	133	110	3

Para el cálculo de la cantidad de electrolinerías, se asume que a la salida o entrada de cada ciudad existe una electrolinería con el fin de recargar justo antes de iniciar la ruta, por lo que se debe adicionar dos electrolinerías al resultado obtenido de la división entre la longitud de la vía y la distancia máxima entre electrolinerías.

Estos resultados son aproximaciones realizados con datos secundarios, las temperaturas, son las medias durante el trayecto, sin embargo, para determinar con precisión, es necesario realizar pruebas de ruta para casos específicos

El tipo de electrolinería en vías principales debe ser de carga rápida (>22 kW), para que los usuarios tengan un tiempo de carga aproximado entre 15 y 35 minutos máximo, de manera que se asemeje a la experiencia de tanqueo convencional. El tipo de electrolinería en las vías secundarias podrá ser entre carga rápida (>22 kW) y carga lenta (7.7 kW hasta 22 kW), esto dependerá de los costos asociados a la instalación de la electrolinería y que se pueda justificar la inversión contemplando el tráfico de EVs sobre la vía, la distancia a la red de media tensión, entre otros factores.

#### 4.1.3 Tipo de conector

Frente al tipo de conector, existen diferentes posturas actualmente por parte de los actores en el mercado, donde algunos optan por el libre desarrollo de la infraestructura de carga sin establecer un estándar en el tipo de conector y los que se oponen a esto y prefieren la estandarización a un tipo de conector.

El libre desarrollo del mercado hará que llegue más oferta de EVs con diferentes tipos de conector y la infraestructura de carga tendrá que adaptarse a la oferta, teniendo que ofrecer hasta 6 tipos de conectores dependiendo del vehículo. Sin embargo, se puede presentar que el despliegue en infraestructura de recarga pública por parte de privados disminuya debido a los altos costos por la implementación de los diferentes tipos de conectores.

Debido a esto, no es posible determinar un tipo de conector para las estaciones de carga y se recomienda llegar a un acuerdo entre fabricantes automotores, fabricantes de cargadores y empresas inversionistas en proyectos de recarga pública para determinar el/los tipos de conectores a usar.

#### **4.2 POTENCIAL INTEGRACIÓN EN ESTACIONES DE SERVICIO EXISTENTES.**

Este punto requiere de dos enfoques distintos, un enfoque técnico, que permita a partir de la teoría lograr trazar una ruta práctica sobre una la implementación de las electrolineras en estaciones de servicio ubicadas en las vías primarias y secundarias del país; y un enfoque regulatorio que permita definir los criterios normativos que se deben tener en cuenta para lograr este proceso. Este último tema, se desarrollará en el numeral 9.2.2.1 del presente trabajo.

En adición a los argumentos que expone esta sección, cabe resaltar que se llevó a cabo un taller con los principales actores del mercado de suministro de combustibles y energía, en la cual se manifestaron los avances en las conversaciones entre estas empresas y el gobierno con el objetivo de definir las especificaciones técnicas y los estándares de seguridad de la implementación de electrolineras en estaciones de servicio.

Frente al caso particular de la integración de estas a las estaciones de servicio en vías primarias del país, los actores señalaron que, dado que estas requerirían estaciones de carga rápida, la decisión del gobierno frente a su regulación es fundamental para su implementación masiva. En este punto los actores señalaron que dado que esta integración significa una alta inversión de capital de alrededor de \$400 millones de pesos, la falta de la definición de la normativa por parte del gobierno y la falta de estandarización de las estaciones de carga, hacen que implementar este tipo de proyectos sea muy riesgoso para sus patrocinadores.

La instalación de electrolineras en estaciones de servicio que se encuentren en las vías nacionales dependerá de la conectividad que tenga cada EDS con la red eléctrica. Así, al igual que en la metodología descrita en el numeral 3.6, en este análisis se deberá identificar los circuitos y transformadores eléctricos a los que se puede conectar la EDS, el estudio de la capacidad disponible y la definición de las adecuaciones y obras eléctricas a ejecutar para asegurar la conexión entre los puntos de carga y la red eléctrica.

## 5 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA

### 5.1 ESTRUCTURA DE COSTOS DE EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE CARGA

Los costos de equipamiento de una estación de recarga se dividen en costos de inversión - CAPEX del sistema y costos de operación - OPEX del proyecto. De acuerdo con el análisis de experiencias y lo manifestado por los diferentes actores participantes del negocio de recarga, la estructura de inversiones y costos de una estación de recarga se compone de los siguientes elementos principales:

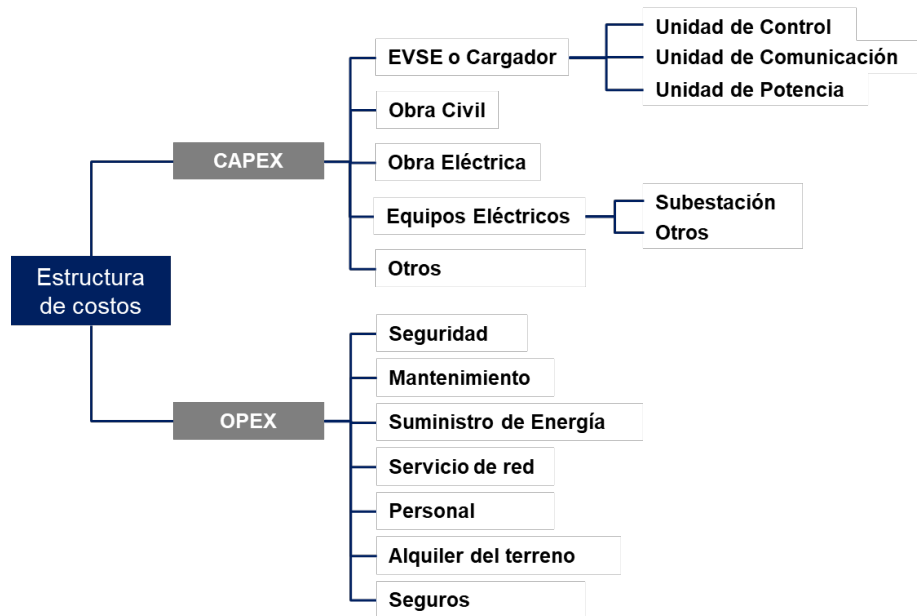


Figura 5-1. Estructura de Costos para Estación de Carga Pública

Si bien la estructura de costos presentada contempla la totalidad de elementos que eventualmente se requieren para la instalación y operación de una estación de recarga pública, éstos varían según el tipo de uso y lugar de instalación del punto de recarga: pública o privada, residencial o comercial, compartida o exclusiva.

En términos generales, los costos de inversión o CAPEX de una estación de carga rápida se pueden agrupar en los siguientes componentes principales:

- Cargador o EVSE, que a su vez contiene los siguientes componentes:
  - Unidad de Control
  - Unidad de Comunicación
  - Unidad de Potencia
- Obras
  - Obra Civil

- Obra Eléctrica
- Equipos Eléctricos
  - Subestación
  - Otros
- Otros (pueden ser pagos únicos para acceder a servicios de red)

Y los costos de operación u OPEX de una estación de carga rápida se pueden agrupar de la siguiente forma:

- Costos de Operación y Mantenimiento
  - Seguridad
  - Mantenimiento
  - Suministro de Energía
  - Servicios de Red
  - Personal
  - Alquiler del terreno
  - Seguros

## **5.2 RESUMEN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA ELECTROLINERA**

De acuerdo con la información obtenida de diferentes proveedores de mercado, las electrolineras presentan un amplio rango de costos dependiendo de múltiples factores como la ubicación, distancia a la red de suministro eléctrico, número de puntos de recarga y condiciones físicas del lugar de la instalación entre otros.

Sin embargo, para efectos del estudio se presentarán valores típicos para la construcción de una electrolinera con un EVSE, que permiten dimensionar los tamaños de inversión que se requerirían para el desarrollo de un programa de instalación de estaciones de carga en una ciudad o país

Además de las variaciones en los costos de los equipos, se debe señalar adicionalmente que los costos de instalación de un cargador (EVSE) varían dependiendo de la capacidad (potencia), el sitio en el que se instala, las adecuaciones a realizar, los costos de mano de obra, entre otros.

A efectos de determinar los costos de referencia se condicionan los siguientes supuestos:

- Para la instalación de un cargador lento, se asume que su instalación es residencial, con un cargador de Nivel 1, con una potencia máxima de 3.5 kW. Se requieren accesorios como protecciones y tableros eléctricos.
- Para la instalación de un cargador semirápido residencial, se asume que se instala un cargador de Nivel 2 para pared, con una potencia máxima de 14 kW. Se requieren accesorios como protecciones y tableros eléctricos.
- Para la instalación de un cargador semirápido de uso público, se asume que se instala un cargador de Nivel 2 tipo poste, con una potencia máxima de 22

kW. Para tener una instalación de este tipo, se requiere un transformador a 408V, por lo que se asumirá que se suministrará e instalará la subestación para trabajar bajo el escenario más conservador y como alternativa se considerará el costo sin subestación, asumiendo que cuenta con un punto donde ya existe una subestación eléctrica cercana. Para el caso con instalación de subestación, la instalación de equipos contempla los costos de las obras eléctricas relacionadas con ésta. Por lo que la obra eléctrica es la misma para ambos escenarios.

- La estación de carga rápida será con un cargador con potencia de 50 kW, instalado en una estación de servicio existente y se debe instalar la subestación para obtener el voltaje de 408V requerido, además cuenta con el servicio de conexión a la red con todos los servicios que éste ofrece y requiere un especialista del fabricante para su puesta en marcha.
- La tasa representativa utilizada corresponde a \$3,450 COP\$/USD\$
- Para carga semirápida y rápida se parte de la premisa de montar unidades inteligentes que toman y suministran información relevante para la mejor planeación, programación y uso de los sistemas de carga.

Tabla 5-1. Resumen de Costos Típicos para Diferentes Tipos de Estaciones.

Tipo carga	Lenta Residencial [COP\$]	Semirápida Residencial [COP\$]	Semirápida Pública sin S/E [COP\$]	Semirápida Pública con S/E [COP\$]	Rápida [COP\$]
EVSE o Cargador	3,646,000	4,558,000	13,485,000	13,485,000	136,620,000
Obra Civil	-	-	2,750,000	4,000,000	4,000,000
Obra Eléctrica	450,000	650,000	6,500,000	6,500,000	14,000,000
Equipos Eléctricos	678,000	1,137,000	5,500,000	85,000,000	85,000,000
Otros <sup>14</sup>	-	-	-	-	22,818,000
<b>Total</b>	<b>4,774,000</b>	<b>6,345,000</b>	<b>28,235,000</b>	<b>108,985,000</b>	<b>262,438,000</b>

Fuente Análisis del consultor a partir de precios de referencia en el mercado.

Los costos fueron tomados a partir de datos suministrados por fabricantes de sistemas de carga para suministro en Colombia (precios 2019), y complementado con costos de referencia internacional en los casos en lo que dispone de datos específicos.

De la Tabla 5-1 se puede ver que el costo entre la carga lenta y semirápida en zonas residenciales no es muy diferente, sin embargo, existe una gran limitante que es la potencia instalada en la casa o apartamento, pues no todas las casas cuentan con

<sup>14</sup> Corresponde a costos asociados a la puesta en operación y comisionamiento del equipo (ej. Ingeniero Especialista enviado por el fabricante) y otros costos de pago único para acceso a servicios de red para cargadores inteligentes.

tomas de 220 y amperajes de 32 A, por lo que se limita bastante a la capacidad de la residencia.

Los dos elementos de costo más representativos son el equipo de carga y los equipos de potencia eléctrica que se puedan necesitar para atender la demanda de energía del sistema de carga. El primero de ellos representa entre el 76% al 53% en los cálculos realizados. Mientras que los equipos eléctricos varían del 14% - 33% del proyecto.

En las estaciones de carga pública, el costo se incrementa considerablemente no solo por la mayor capacidad del cargador sino por tener que realizar la instalación de una subestación, que corresponde a un 33% del costo total para una electrolinera de carga rápida.

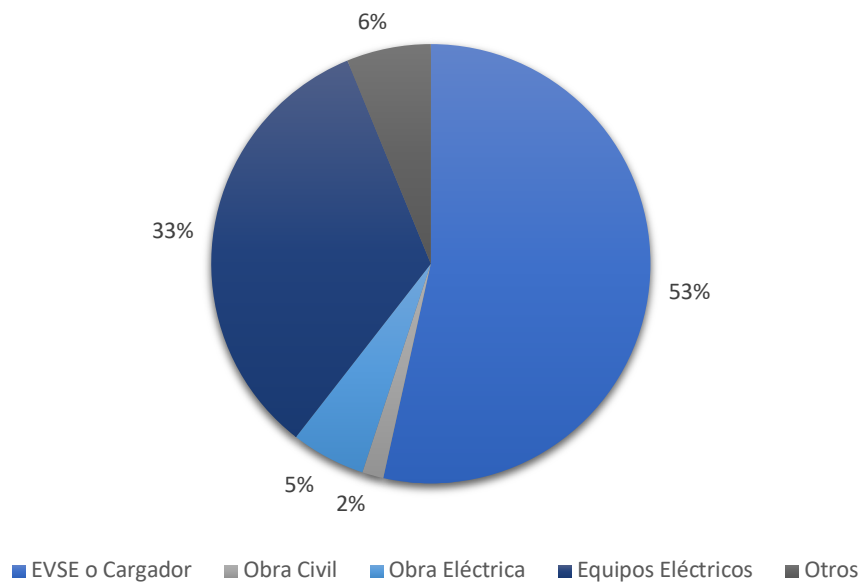


Figura 5-2. Distribución de Costos para la Instalación de una Estación de Carga Rápida con 1 EVSE. (Consultor, 2019)

Por lo anterior es importante que, al momento de seleccionar la ubicación para el montaje de una estación de carga, este cuente con una subestación cercana para poder suministrar la energía a los cargadores y disminuir el costo total de la instalación.

En la tabla a continuación se presenta el detalle de la participación de los costos de inversión para los diferentes sistemas de recarga:

Tabla 5-2. Resumen de Costos Típicos (porcentual) para Diferentes Tipos de Estaciones

Tipo carga	Lenta Residencial	Semirápida Residencial	Semirápida Pública sin Trafo	Semirápida Pública con Trafo	Rápida
EVSE o Cargador	76.4%	71.8%	51.4%	12.8%	52.1%
Obra Civil	0.0%	0.0%	15.2%	3.8%	1.5%
Obra Eléctrica	9.4%	10.2%	12.4%	3.1%	5.3%
Equipos Eléctricos	14.2%	17.9%	21.0%	80.4%	32.4%
Otros	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.7%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

En el siguiente capítulo, se presentará en mayor detalle cada uno de estos costos para las estaciones de carga rápida.

### 5.3 COSTOS DE REFERENCIA INTERNACIONAL DE ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA

Del estudio realizado por Agenbroad (2014) se puede evidenciar el costo total de instalación de una estación de carga rápida con un cargador (EVSE) puede estar alrededor de los \$60.000 dólares, los cuales se encuentran divididos en:

- Cargador (EVSE).
- Transformador de 480V.
- Materiales para la instalación (cables, tubería PVC, entre otros)
- Otros materiales (Elementos para el montaje, señalización, elementos de seguridad, entre otros)
- Trabajo del técnico electricista.
- Otras labores (obras civiles como excavaciones, vaciado de concreto)
- Permisos para la instalación de los equipos (Estos pueden variar dependiendo de la ciudad o el país)

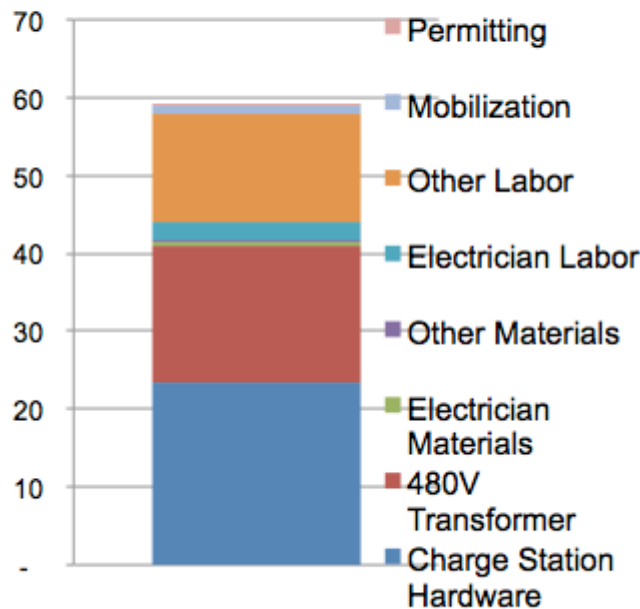


Figura 5-3. Costo de Instalación para Cargadores de Carga Rápida. (Agenbroad, 2014)

Existen dos motivos por los cuales se incrementa el costo de una instalación de carga y son: i. Unidad o Equipo de Carga (>\$20,000 USD) y ii. La obra eléctrica la cual puede aumentar por la necesidad de instalar transformadores de 480V, lo cual puede añadir un costo entre \$10,000 y \$20,000 USD en costos para algunas regiones del mundo.

Ahora se revisará con mayor detalle cada uno de estos elementos de costo y como pueden variar según las condiciones.

## 5.4 CAPEX

### 5.4.1 Costos del cargador (EVSE)

Los cargadores (EVSE) se encuentran de diferentes marcas con una gran variedad de diseños y funcionalidades como, pantalla, conexión a internet, diferentes métodos de pago, entre otros.

Los cargadores más básicos podrán conectarse al EV y cargarlo sin obtener ningún tipo de información y sin interactuar con el usuario, existen otros más sofisticados (“inteligentes”) que están disponibles con diferentes características que se detallan a continuación:

- **Capacidad de comunicación:** Permite diferentes niveles de comunicación con el EV, el usuario, la red eléctrica e internet, permitiendo en algunos casos inclusive que el vehículo le “venda” carga a la red.
- **Permitir el acceso:** Se puede permitir o restringir el uso del cargador a ciertos usuarios, por ejemplo, quienes realicen el pago de la suscripción



mensual podrán acceder al cargador o por ejemplo si son empleados de la empresa que instaló el cargador y ofrece este servicio a sus empleados.

- **Punto de venta (POS):** Funcionalmente, permite cobrar al usuario por la recarga de energía ya sea a través de tarjetas débito/crédito, lector RFID o aplicación móvil.
- **Monitoreo de energía:** Permite analizar el consumo de energía del EVSE y así determinar la reducción en gases de efecto invernadero.
- **Gestión energética y respuesta a la demanda:** Optimiza la carga y maximiza la recarga en horas valle con precios favorables y minimiza la recarga durante las horas pico. Por ejemplo, se puede programar la EVSE para cargar únicamente durante horas valle.
- **Pantalla avanzada:** Permite mostrar una pantalla para interactuar con el usuario, mostrar publicidad o cualquier otro fin.

El costo de un EVSE de carga rápida DC puede oscilar entre \$5,000 y \$40,000 USD (Smith & Castellano, 2015), sin embargo, pueden disminuir estos costos a medida que va madurando la industria de los EVSE.

A continuación, se presenta una tabla con los costos de un EVSE de diferentes marcas y fabricantes.

Tabla 5-3. Costos de EVSE para diferentes fabricantes.

Tipo de Cargador	Potencia (kW)	Cantidad Pistolas	Tipo de Pistola	Marca	País de Venta	Precio (USD)
DC	60	2	CHAdEMO	HGE	China	5,000
DC	160	2	GB/T	HGE	China	5,000
AC / DC	43 / 50	3	CCS / CHAdEMO / Type 2	Electway	China	15,000
AC	22	2	Type 2	Virta	Suecia	6,664
DC	50	2	CCS / CHAdEMO	Veefil	Australia	30,000
AC / DC	43 / 50	Hasta 3	CCS / CHAdEMO / Type 2	ABB	Colombia	33,000
DC	120	2	Por Definir	SunWin	Colombia	25,000
DC	150	2	Por Definir	Yutong	Colombia	29,000

Fuente Análisis del equipo consultor a partir de información del mercado.

En la Tabla 5-3 se evidencia la diferencia en costos en los cargadores (EVSE) dependiendo del fabricante y procedencia.

### 5.4.2 Costos de instalación de un cargador (EVSE)

El costo de instalación de un EVSE de carga rápida tiene una gran variación, pueden ir desde los \$10,000 USD hasta más de \$50,000 USD por unidad (Smith & Castellano, 2015). Estos costos dependerán de la complejidad de la instalación. Una instalación sencilla que no requiere tanto trabajo podrá estar en el nivel de costo bajo, pero instalaciones más complejas, requerirán de mayor trabajo, adquisición de equipos que aumentarán su costo hacia valores superiores a los \$50,000 USD. Estos son valores de referencia, más adelante se presentará el análisis aplicado al contexto local.

De acuerdo con el estudio realizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos, los costos de instalación van desde \$8,500 USD hasta \$50,820 USD con un promedio de \$23,662 USD (Smith & Castellano, 2015) tal como se evidencia en la Figura 5-4.

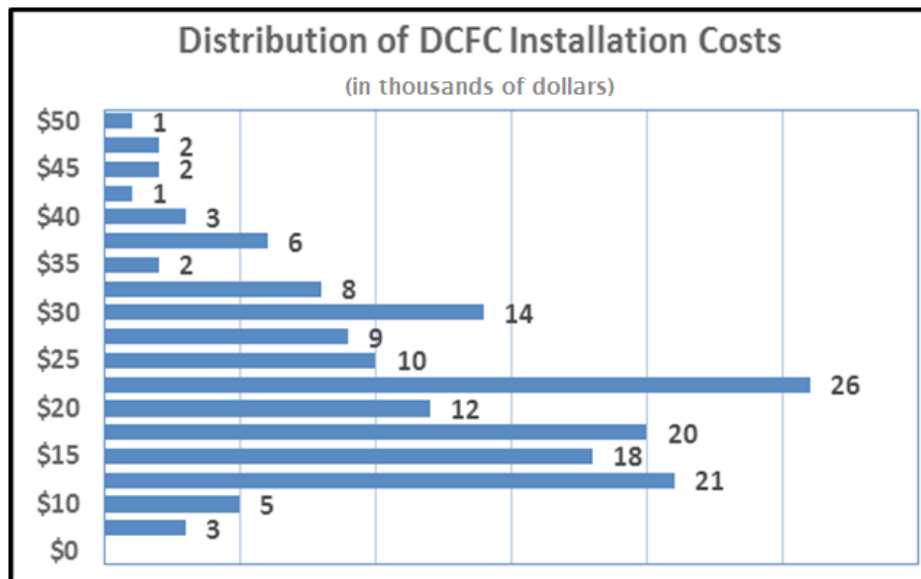


Figura 5-4. Distribución de Costos de Instalación de Cargadores de Carga Rápida. (Smith & Castellano, 2015)

Los costos de instalación están compuestos por los costos de trabajos, materiales, permisos, impuestos y mejoras a la red eléctrica. Como principal conclusión tenemos que a medida que se aumenta el número de cargadores por sitio, disminuyen los costos unitarios de instalación. El costo de mejorar la red eléctrica está embebido en la sección de materiales, pero es importante señalar, que en la práctica estos costos son responsabilidad de la empresa de distribución.

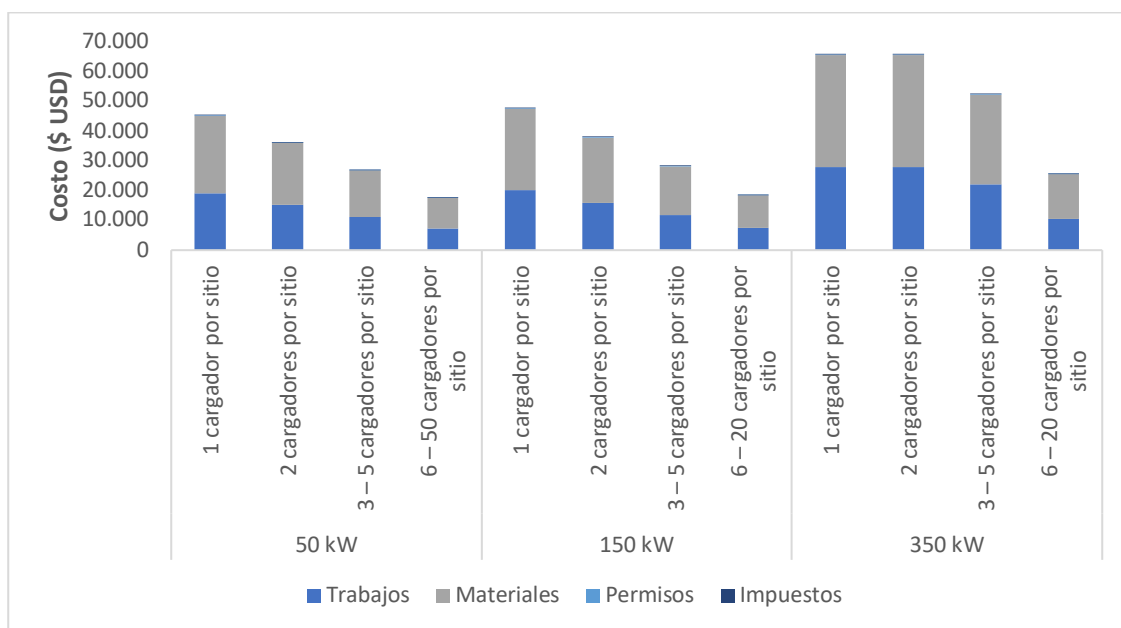


Figura 5-5. Distribución del costo según tamaño de la instalación de carga. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

Los cargadores rápidos en DC ven disminuidos sus costos unitarios de instalación a medida que aumenta el número de cargadores por sitio. Del mismo modo, los costos no dependen proporcionalmente de la potencia del cargador. La instalación de un cargador con el triple de capacidad no es tres veces más alta. También es claro que los costos de instalación dependen únicamente del número de cargadores por sitio.

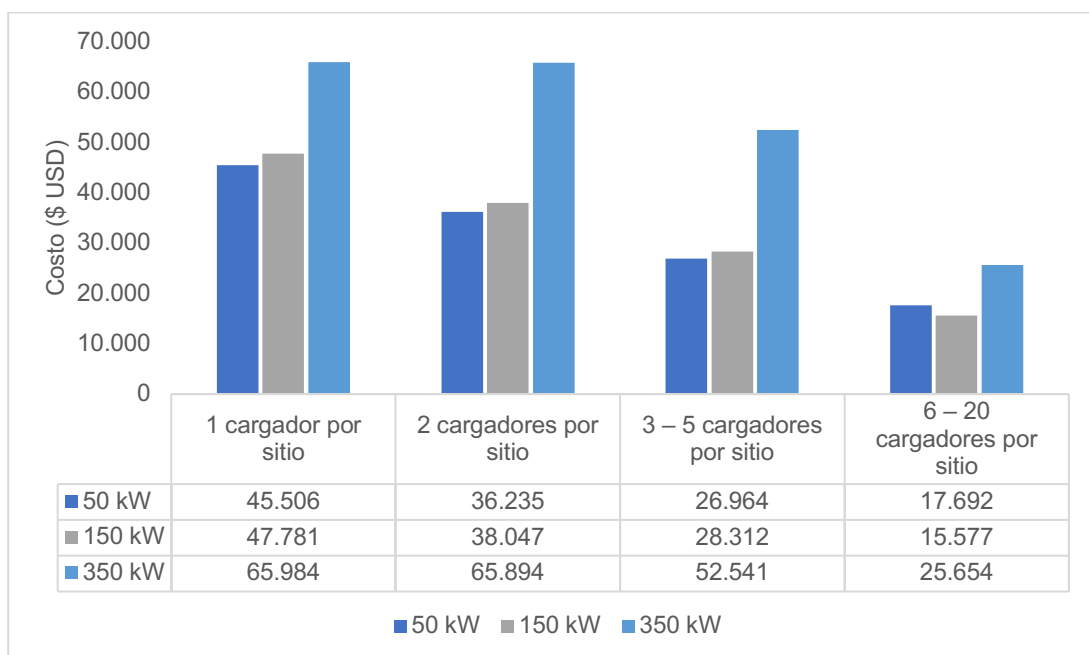


Figura 5-6. Distribución del costo total según tamaño de la instalación de carga. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

A mayor potencia del cargador, mayor el costo, esto se debe principalmente a que instalaciones de carga de alta potencia como las de 350 kW pueden necesitar mayor cantidad de electrónica y materiales para su instalación y a que las redes de energía pueden necesitar mejoras para recibir este tipo de equipos. Generalmente hay un límite de sitio de 2.5 MW de potencia antes de un cambio radical en los costos. Por lo tanto, para instalaciones de 50, 150 y 350 kW se pueden instalar entre 50, 20, y 10 cargadores respectivamente (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019).

Por último, es importante aclarar que estos son solo los costos de instalación del equipo, aquí no se está tomando en cuenta costos adicionales como lo son terrenos, equipos de seguridad, iluminación, comunicaciones, señalización entre otros.

### 5.4.3 Trabajos (Obra civil y eléctrica)

El alcance de los trabajos civiles y eléctricos varían de acuerdo con las condiciones, características del terreno y de la ubicación de la electrolinera.

Los trabajos civiles hacen referencia a trabajos, tales como excavaciones, vaciado de concreto para los bancos de ductos, vaciado de concreto para las bases subestaciones eléctricas o del punto de carga rápida, entre otros.

Los trabajos eléctricos relacionados con la instalación que corresponden a la instalación de tubería conduit, cableado, instalación de puesta a tierra, tableros, protecciones, etc., todos dentro del espacio donde está ubicada la electrolinera.

En este capítulo se consideran los costos para la instalación de una estación de carga con un cargador, con una infraestructura básica, es decir, el cargador en su pedestal y su acometida para entregar la energía.

Se asume que la electrolinera cuenta con una conexión existente a la red y que su capacidad es suficiente en el terreno donde será instalado. En caso de que no cuente con un punto de conexión por falta de capacidad, se requerirán obras adicionales para la conexión a los circuitos cercanos que se encuentran fuera del terreno de la electrolinera y deberán ser evaluados con el operador de red.

A continuación, se presenta un cuadro de precios unitarios de referencia en Colombia para los trabajos principales:

Tabla 5-4. Precios Unitarios de Referencia para Instalación de Punto de Carga Rápida en Colombia.

Actividad	Descripción	Unidad	Valor Unitario
<b>OBRA CIVIL</b>			
<b>Descapote y limpieza del terreno</b>	Descapote y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.	m2	1,750
<b>Excavación a cielo abierto, con medios manuales</b>	Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios manuales, y carga manual a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.	m3	19,092
<b>Acero para concreto</b>	Acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm <sup>2</sup> ) para figurado del acero (corte y dobléz) y armado en zapata de cimentación. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	2,070
<b>Concreto Simple</b>	Concreto f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (21 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales, para formación de zapata.	m3	285,000
<b>OBRA ELÉCTRICA</b>			
<b>Toma de tierra con pica</b>	Toma de tierra con tres picas de acero cobreado de 2 m de longitud cada una.	Und	701,230
<b>Canalización</b>	Suministro e instalación enterrada de canalización de tubo curvable, suministrado en rollo, de polietileno de doble pared (interior lisa y exterior corrugada), de color naranja, de 250 mm de diámetro nominal, resistencia a la compresión 450 N, colocado sobre lecho de arena de 5 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. El precio incluye los equipos y la maquinaria necesarios para el desplazamiento y la disposición en obra de los elementos, pero no incluye la excavación ni el relleno principal.	m	55,047
<b>Cableado</b>	Suministro e Instalación de Cable THHN/THWN-2 500 kcmil Cu 600V 90°C para acometida AC y DC.	m	140,200

Fuente (CYPE Ingenieros, 2019)

Dependiendo del diseño de la obra, las condiciones del terreno y otros factores, las cantidades de obra podrán variar y afectarán el precio final de los trabajos. Por ejemplo, para patios de buses con cargadores, la infraestructura civil podría ser mucho más completa al requerir:

- Cimentación de estructuras
- Canalizaciones para redes eléctricas
- Roturas y recuperación de pavimentos y/o andenes
- Cerramientos
- Demarcaciones
- Desagües
- Bases para cargadores
- Edificaciones centro de monitoreo y control
- Cámaras de vigilancia y elementos de seguridad

En algunos casos se considera la implementación de cubiertas para los sitios donde se ubican los cargadores y buses eléctricos. Sobre estas cubiertas se pueden implementar paneles solares para generación de electricidad, la cual puede ser utilizada en iluminación y otros servicios en patios o edificio administrativo.

Sin embargo, estas estaciones de carga para buses son de uso privado y no es infraestructura abierta al público general, por lo que su infraestructura puede llegar a ser mucho más compleja.

Al realizar una aproximación en cantidades de obra para la obra civil y eléctrica se obtiene el siguiente resultado.

Tabla 5-5. Costos Aproximados de Obra Civil y Eléctrica para Instalación de Punto de Carga Rápida en Colombia.

Actividad	Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
<b>OBRA CIVIL</b>					<b>4,191,800</b>
<b>Descapote y limpieza del terreno</b>	Descapote y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.	m2	1,750	50	87,500
<b>Excavación a cielo abierto, con medios manuales</b>	Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios manuales, y carga manual a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.	m3	19,092	25	477,300
<b>Acero para concreto</b>	Acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm <sup>2</sup> ) para figurado del acero (corte y doblez) y armado en zapata de cimentación. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	2,070	100	207,000
<b>Concreto Simple</b>	Concreto f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (21 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales, para formación de zapata.	m3	285,000	12	3,420,000
<b>OBRA ELÉCTRICA</b>					<b>13,719,400</b>
<b>Toma de tierra con pica</b>	Toma de tierra con tres picas de acero cobreado de 2 m de longitud	Und	701,230	2	1,402,460
<b>Canalización</b>	Suministro e instalación enterrada de canalización de tubo curvable, suministrado en rollo, de polietileno de doble pared (interior lisa y exterior corrugada), de color naranja, de 250 mm de diámetro nominal, resistencia a la compresión 450 N, colocado sobre lecho de arena de 5 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. El precio incluye los equipos y la maquinaria necesarios para el desplazamiento y la disposición en obra de los elementos, pero no incluye la excavación ni el relleno principal.	m	55,047	20	1,100,940
<b>Cableado</b>	Suministro e Instalación de Cable THHN/THWN-2 500 kcmil Cu 600V 90°C para acometida AC y DC.	m	140,200	80	11,216,000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>17,911,200</b>
<b>A.I.U.</b>				18%	<b>3,224,016</b>
<b>IMPUESTOS</b>				19%	<b>612,563</b>
<b>TOTAL</b>					<b>21,747,779</b>

Fuente (CYPE Ingenieros, 2019)

De este ejercicio, el costo de la obra civil y eléctrica para la instalación de un punto de carga rápida puede estar alrededor de los 20 millones de pesos. Sin embargo, entre más compleja sea la obra, los costos podrán aumentar considerablemente, porque aquí no se considera la construcción del techo en estructura metálica u obras civiles y mecánicas para el sistema contra incendio, seguridad y control de acceso entre otros.

#### 5.4.4 Equipos y materiales

Los equipos y materiales son aquellos equipos especiales que se requieren para la instalación de la estación de carga rápida, ya sea el montaje de la subestación

compacta con un transformador trifásico seco de baja a baja o de media a baja tensión según las condiciones.

Tabla 5-6. Precios de Referencia para Transformadores en Colombia.

Descripción	Potencia [kVA]	Alta [V]	Baja [V]	Precio [COP]
Trifásicos Tipo Poste Serie 15 kV	75	13,800	400	16,754,010
Trifásicos Tipo Poste Serie 34.5 kV	75	34,500	400	31,236,310
Trifásico Tipo Poste Serie 11.4 kV	75	11,400	400	8,231,386
Trifásico Tipo Pedestal Serie 11.4 kV	75	11,400	400	18,659,390
Trifásico Tipo Poste Serie 11.4 kV	112.5	11,400	400	10,121,887
Trifásico Tipo Pedestal Serie 11.4 Kv	112.5	11,400	400	20,866,802

A pesar de tener una muestra pequeña, los precios de los transformadores en Colombia pueden tener un costo de entre \$2,300 USD hasta \$9,000 USD, de manera que la adquisición de un transformador puede incrementar el costo de instalación de una estación de carga rápida si no se cuenta con la infraestructura adecuada al momento de la instalación.

Ahora bien, el suministro e instalación de una Subestación de 75 kVA puede variar entre COP \$40 millones y COP \$86 millones (\$11,647 a \$25,000 USD) dependiendo del tipo de transformador y si tienen una potencia mayor de 112.5 kVA, los precios de suministro e instalación de la subestación varían entre \$62 millones y \$91 millones COP (\$18,050 a \$26,490 USD)

## 5.5 OPEX

### 5.5.1 Alquiler del terreno

En este análisis, se tendrán en cuenta los costos de alquiler del terreno, es decir, del espacio para la instalación de los cargadores y el espacio para el carro, sin considerar la adquisición de esta.

El costo del uso del suelo puede llegar a variar dependiendo de diferentes factores tales como la ciudad, la zona, el tamaño y las facilidades que tenga.

Sin embargo, para instalar un EVSE de carga rápida se requiere mínimo de una zona de parqueo (12 – 15 m<sup>2</sup>) donde el vehículo pueda estacionarse para recargar y se cuente con espacio físico adicional para instalar el EVSE y la subestación eléctrica en caso de requerirse.

El costo de arriendo de un estacionamiento en la ciudad de Bogotá está entre los \$150,000 y los \$300,000 al mes (\$43.48 - \$86.96 USD) (Queo, 2019) en función de la zona donde se ubique.



Con relación al espacio público (Bahías o cupos de estacionamiento) en Bogotá, uno de los actuales operadores de la red de recarga (2019) reporta que paga cerca de COP\$11 millones por mes por 41 cupos, esto es aproximadamente COP\$ 270.000 por unidad.

Por su parte, algunos almacenes de superficie en Bogotá y Medellín cargan los costos marginales por este concepto a las empresas de energía o empresas proveedoras de equipos de recarga de vehículos eléctricos buscando su posicionamiento y visibilidad como empresas comprometidas con la tecnología y la sostenibilidad ambiental.



Fotografía 5-1. Ejemplo de una Estación de Carga Rápida con 4 puntos de recarga en Europa. (Ionity, 2019)

Ionity (2019), muestra como es una estación de carga rápida en Europa, donde sólo usa el espacio para el parqueadero y la estación de carga. Sin embargo, como se detallará más adelante, las estaciones de carga rápida pueden llegar a requerir una infraestructura adicional y, por lo tanto, de espacios adicionales.

A continuación, se presentan los costos de un lote o casa lote que tienen la opción de funcionar como parqueadero y/o estación de carga.

Tabla 5-7. Costos de lotes en Bogotá y Medellín aptos para instalación de estaciones de carga.

Ítem	Ciudad	Zona	Barrio o Localidad	Capacidad de Vehículos	Área [m <sup>2</sup> ]	Costo Arriendo [\$ COP]	Costo Unitario [\$ COP/m <sup>2</sup> ]
1	Bogotá	Centro	Germania	12	308	8,000,000	25,974
2	Bogotá	Centro	San Bernardo	66	1800	30,000,000	16,667
3	Bogotá	Occidente	Álamos	8	202	2,500,000	12,376
4	Bogotá	Norte	Cedritos	24	630	35,000,000	55,556
5	Bogotá	Norte	Santa Bárbara	20	578	35,000,000	60,554
6	Bogotá	Norte	Bella Suiza	21	561	15,000,000	26,738
7	Medellín	Noroccidente	La Floresta	158	4356	30,000,000	6,887
8	Medellín	Centro	La Minorista	15	400	15,000,000	37,500
9	Medellín	Suroccidente	Guayabal	84	2300	35,000,000	15,217

Fuente Análisis Consultor a partir de información obtenida de (FincaRaiz, 2019)

Los precios de arriendo para lotes aptos para instalar EVSE en Bogotá y Medellín varían desde los \$12,376 hasta los \$60,554 COP (\$3.59 - \$17.55 USD) por m<sup>2</sup>.

Entre los lotes, en la zona norte de Bogotá, dos funcionan actualmente como parqueaderos con una capacidad para 24 y 20 vehículos, lo que lo convierte en una zona potencial para instalar cargadores, sin embargo, son los que tienen un alto costo por m<sup>2</sup> debido a que se encuentran en la zona con mayor valor comercial de la ciudad y ya cuentan con las instalaciones para funcionar como parqueaderos.

Si bien el área del espacio de parqueo puede ser de aproximadamente 15 m<sup>2</sup>, el área total requerida por vehículo es de 27.5 m<sup>2</sup>, para poder tener corredores de maniobras y circulación y área para actividades administrativas.

En promedio se pueden encontrar lotes con potencial para instalar cargadores de EV con un valor para arriendo de \$27,000 COP (\$7.83 USD) por m<sup>2</sup> o de \$19,300 COP (\$5.60 USD) por m<sup>2</sup> si no tenemos en cuenta los dos datos más altos.

Por lo tanto, asumiendo el rango bajo de los precios de alquiler, se necesitaría disponer de un área de 110 m<sup>2</sup>, que tendría un costo de arrendamiento mensual de \$2,090,000 COP (\$605.85 USD) para una estación de carga con capacidad para 4 vehículos.

### 5.5.2 Suministro de energía

El costo de operación de un EVSE incluye el costo de la energía suministrada al usuario para cargar su EV. Los dueños de las estaciones deben por lo tanto

negociar los precios de la energía con las distribuidoras para conocer detalles de costos, como un sobre costo por demanda. En general, el costo de la energía se da por el consumo dado en kWh y éste debe tener un precio previamente acordado entre la empresa de distribución y el operador de la EVSE cuya tarifa a su vez depende del tipo de usuario según lo define la reglamentación en Colombia.

Para Estados Unidos, el costo comercial de la electricidad está en el rango de \$0.08-\$0.15 USD/kWh, mientras que el costo para industriales puede llegar a ser menor. (US Energy Information Administration, 2019).

Para Colombia suponiendo un costo equivalente al de un usuario no regulado se puede estar hablando de costo del kWh de \$180 COP/kWh (Aprox. \$0.05 USD/kWh). mientras que el costo para un sistema con carga con costo de usuario regulado podría variar de \$450 – \$600 COP/kWh (\$0.12 – \$0.17 USD/kWh).

El consumo de energía variará dependiendo de la cantidad de EVs que cargan en la EVSE, potencia de salida de la EVSE, el voltaje que acepta el EV para cargar las baterías y la cantidad de EVs al momento de cargar.

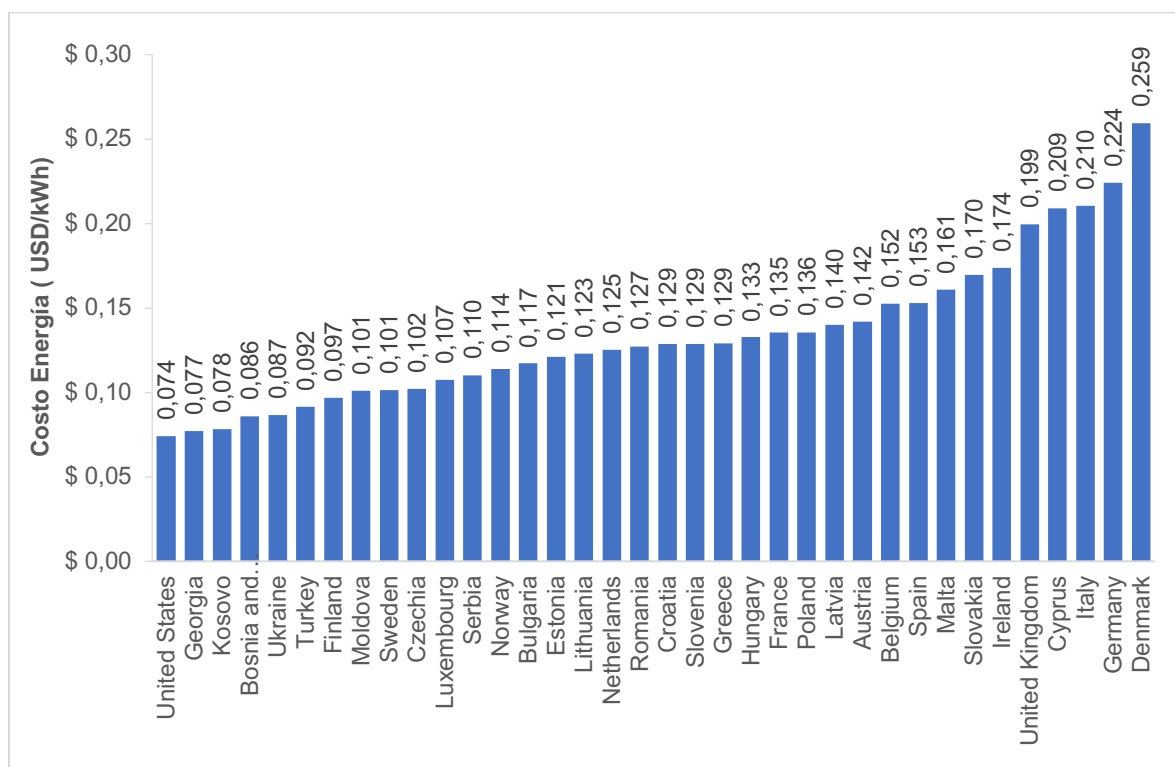


Figura 5-7. Costo de Adquisición de Energía a Nivel Industrial para diferentes países (Incluye impuestos) (Eurostats, 2019)

En la Figura 5-7 se encuentra el costo de la energía por kWh para diferentes países cuando es vendido a las industrias, donde el valor promedio es de \$0.134 USD por kWh, es decir, aproximadamente \$459 COP por kWh<sup>15</sup>.

Se realizó un ejercicio para determinar el costo de adquisición de energía eléctrica para un año de operación con una (1) EVSE de carga rápida de 50 kW asumiendo como supuestos que tiene un uso efectivo de 10, 15, 20 y 25 EVs durante un día de operación, con una duración de carga promedio de 24 minutos, que es aproximadamente el equivalente a cargar una batería de 34 kWh desde el 20% hasta el 80% de su capacidad con la potencia instalada de 50 kW. Esto da como resultado que la estación de carga rápida tiene un uso efectivo equivalente en horas de 4, 6, 8 y 10 horas diarias según el escenario.

Además, se asume que la EVSE sólo puede atender un EV por cargador. También se asume que el EV puede soportar la carga rápida de 50 kW y que la EVSE opera los 365 días del año, porque las paradas de mantenimiento se pueden realizar en los tiempos donde no se opera el punto de carga.

Tabla 5-8. Simulación de costos por adquisición de energía para la EVSE.

Tiempo de Uso Efectivo del EVSE [h/año]	Cantidad de EVSE [und]	Potencia del EVSE [kW]	Cantidad Energía Entregada [kWh/año]	Costo Energía Regulado [\$COP/kWh]	Costo de Adquisición de Energía [\$COP]
1,460	1	50	73,000	450	32,850,000
2,190	1	50	109,500	450	49,275,000
2,920	1	50	146,000	450	65,700,000
3,650	1	50	182,500	450	82,125,000

Fuente Análisis equipo consultor

Basados en el ejercicio anterior, los costos asociados a la adquisición de energía eléctrica para vender posteriormente al conductor de EV pueden variar entre COP \$32 millones y COP \$82 millones en este ejercicio, sin embargo, el dueño de la estación de carga recibirá el diferencial entre el valor de compra y venta de la energía.

### 5.5.3 Cargos por demanda

Adicional a los costos de consumo de energía, muchas facilidades industriales y comerciales pueden tener cobros adicionales por picos de potencia. Estos picos se pueden dar debido a la gran demanda de energía en un instante y si estos superan lo acordado, podrán recibir cobros adicionales o sobretasas. Por lo tanto, se debe

<sup>15</sup> Estos valores no corresponden al costo de la energía para el usuario final, es decir, el conductor del EV; el costo de la energía presentado en la Figura 5-7 es el precio al cual compra el dueño de la estación de carga a la red.

tener en cuenta los cargos por pico de potencia en los costos de operación de las EVSE.

Una estación de carga rápida puede llegar a experimentar cargos por demanda desde \$0 hasta \$2,000 USD al mes (Smith & Castellano, 2015). Estos sobre costos se pueden minimizar al usar EVSE “inteligentes” que pueden gerenciar los recursos y controlar el consumo de energía en horas pico. Sin embargo, es importante verificar previo desarrollo del proyecto si existen cargos por demanda por parte del distribuidor de la energía.

#### 5.5.4 Servicio de red

Si la unidad EVSE se encuentra conectada a internet para recoger datos de consumo o realizar los pagos o cualquiera de las características que requieran de acceso a internet, se deberá tener en cuenta en los costos de operación. Estos pueden variar e ir desde \$100 hasta \$900 USD anuales, dependiendo del tipo de EVSE y las características del servicio ofrecido por el fabricante del cargador.

Un fabricante de cargadores por ejemplo ofrece “Servicios Conectados” que incluyen cuatro componentes principales:

1. **Cargador Conectado:** Dando acceso a la plataforma de Servicios Conectados.
2. **APIs** para la integración de Back Office.
3. **Herramientas web** para monitoreo y gestión básica de la red mediante el uso de un navegador de internet.
4. **Acuerdos de Nivel de Servicio** para monitoreo remoto y diagnóstico por el fabricante.

Cada uno de estos componentes ofrecen diferentes funcionalidades tales como:

- Respuesta a la demanda básica con el cual pueden limitar la potencia total que un cargador o el sitio del cargador puede entregar a los EV, con el fin de prevenir problemas con la capacidad de la infraestructura de suministro de energía.
- Estadísticas. Con esta función, podrá obtener información sobre el número de sesiones y la energía entregada, el estado de carga al inicio y final de la sesión y razones detalladas de parada.
- Se puede configurar remotamente el cargador, como establecer el tiempo máximo de carga, reiniciar de forma remota, deshabilitar o habilitar un cargador en el momento deseado.
- Verificar el estado en tiempo real del cargador, si está disponible, cargando, reservada, apagada, etc.
- Gestión de pagos, para poder configurar las opciones de pago si el equipo cuenta con terminal de pago y conocer sobre todas las transacciones de pago por cargador, por día.

- Monitorización remota y funciones avanzadas de diagnóstico, como el estado de las placas, configuraciones como la temperatura del gabinete, la humedad, entre otras.
- Acceso a configuraciones avanzadas y acción remota, con la posibilidad de cambiar parámetros y configuraciones incluyendo reiniciar tableros individuales.

De manera que dependiendo del tipo de servicio seleccionado por el comprador de la EVSE podrá obtener diferentes beneficios y estos tendrán un costo. A continuación, se presentan los precios de referencia de diferentes servicios de conexión a internet ofrecidos por un fabricante de cargadores.

Tabla 5-9. Precios de Referencia para Servicios de Conexión a Internet

Producto	Tipo de Pago	Precio [\$ USD]
Cargador Conectado	Anual	150
<b>APIs</b>		
OCCP 1.5 integración	Pago Único	4,440
Servicio API	Anual	20
Respuesta a la Demanda	Anual	20
OCCP 1.6 integración	Pago Único	4,440
OCCP 1.6 Conectividad	Anual	Gratis
<b>Herramientas Web</b>		
Cuidado del Conductor	Anual	260
<b>Diagnóstico Remoto</b>		
Cuidado del Cargador	Anual	649
Paquete Cuidado Conductor + Cuidado Cargador	Anual	759

Fuente (Consultor, 2019)

Para poder acceder a cualquiera de los servicios (API, Herramientas Web y Diagnóstico Remoto) es necesario contar con el servicio de Cargador Conectado, de manera que mínimo tendrá un costo de USD\$150 anuales para poder acceder a los servicios de conexión a internet.

### 5.5.5 Mantenimiento y reparación

Debido a que la industria de los cargadores para EVs es relativamente nuevo, no existe mucha información respecto al costo de mantenimiento de estos equipos. Sin embargo, los EVSE de carga rápida cuentan con materiales y equipos adicionales

a los que pueden llegar a tener los cargadores de Nivel 1 y 2, tales como sistemas de enfriamiento y filtros.

Dentro del presupuesto para mantenimiento se debe tener en cuenta:

- Reemplazo del cable de carga debido a vandalismo o mal uso
- Reparación o reemplazo de componentes EVSE (si no están cubiertos por la garantía)
- Solución de problemas técnicos (si no está cubierto en las tarifas de suscripción de la red)
- Restablecimiento manual por mal funcionamiento del software (si no está cubierto en las tarifas de suscripción a la red)
- Mantenimiento preventivo y correctivo.

Por lo general, el costo de mantenimiento preventivo y correctivo corresponde al 1% del CAPEX anual (Enel, 2019).

## 5.6 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE CARGA PARA BUSES DE SERVICIO PÚBLICO

### 5.6.1 Proyecto piloto eBus Transmilenio

Durante el año 2017 y 2018 operó en Bogotá el primer bus eléctrico articulado piso alto operativo en un sistema BRT. Este vehículo contó con una estación de recarga en el patio/portal Suba del sistema Transmilenio. El equipo de carga con 200 KW contaba con dos mangueras para garantizar la carga de las baterías del vehículo (Fotografía 5-2), el cual reportó una autonomía de 310 kilómetros en ruta y exigencias operacionales reales.



Fotografía 5-2. Estación de recarga para bus eléctrico articulado Transmilenio. (Velandia, 2018)

Para la licitación de Fase I y Fase II de Transmilenio, se definieron algunos estimados de costos asociados a la infraestructura eléctrica de recarga en patios (Cuadro). Los supuestos presentados por el operador de red (2018) son:

- 1 cargador por cada 2 buses con dos turnos de carga en la noche
- Se considera la instalación hasta de 3 S/E de 2 MVA por patio sin requerir grandes modificaciones a la red del operador.
- Área promedio requerida por cada S/E (Subestación Eléctrica) de 2 MVA de 36m<sup>2</sup>
- Confiabilidad de la red 99.33%.
- En las entradas de los circuitos de MT a los patios se plantea la instalación de puntos de suplencia automáticos con la instalación de reconectores.
- Tiempo estimado de obra 4 meses (incluye tiempo de diseños e inspecciones)
- El cargador para un bus eléctrico articulado es de 200 KW – tiempo estimado 2,5 horas al 100%.
- Los costos de baja tensión y subterranización son variables y no se incluyen.
- Los costos de obras de confiabilidad no se incluyen porque hacen parte de activos de uso que están remunerados dentro de la infraestructura de distribución.

Tabla 5-10. Costos Estimados Infraestructura Eléctrica para Buses Eléctricos Articulados.

No. Buses	No. Cargadores	Potencia Requerida [kW]	No. S/E 2 MVA	Costo Estimado [COP]	Costo Estimado [USD]	Costo por Cargador [COP]	Costo por Cargador [USD]
10	5	1000	0.5	1,994,354,772	578,074	398,870,954	115,615
20	10	2000	1	2,283,238,692	661,808	228,323,869	66,181
40	20	4000	2	4,566,477,385	1,323,617	228,323,869	66,181
60	30	6000	3	6,849,716,077	1,985,425	228,323,869	66,181

Fuente (Operador de red, 2018)

### 5.6.2 Infraestructura eléctrica para buses eléctricos con recarga de oportunidad

Dos alternativas de buses eléctricos se pueden desarrollar en sistemas de transporte público:

- Carga profunda en patios con recarga rápida en ruta para balanceo de baterías (Fotografía).
- Carga profunda en patios con recarga mediante catenarias en ruta y/o en estaciones para balanceo de baterías.





Fotografía 5-3. Vehículo de recarga de oportunidad, Sao Paulo. (Velandia, 2014)

Las estaciones para la recarga profunda en patios son similares a las anteriormente presentadas, sin embargo, las estaciones para la recarga de oportunidad en ruta o en paraderos demanda carga de alta potencia que permite el despacho de grandes cantidades de energía en pocos minutos. Esta estrategia busca reducir el tamaño de las baterías (por consiguiente, reducir los costos del vehículo). La desventaja de esta opción tecnológica es el costo de las estaciones de recarga, las cuales poseen potencias superiores a los 400 KW y demandan la construcción de subestaciones eléctricas en espacio público.

Esta opción tecnológica ha tomado relevancia en ciudades que cuentan rutas de transporte con buses eléctricos con catenaria, donde ya existe una infraestructura eléctrica instalada y se busca reducir los tramos de catenarias en la ciudad.



Fotografía 5-4. Subestación eléctrica para punto de recarga en ruta (Velandia, 2014)

De acuerdo con el estudio realizado en México DF se considera un cargador de 400 KW en ruta con dos precios de referencia: ARB con New Flyer (\$250,000 USD) o ABB Suiza (\$300,000 USD). Se estima un costo de mantenimiento de la infraestructura eléctrica equivalente al 0,25% del CAPEX por este concepto y una vida útil de 20 años (C40 Cities Finance Facility (CFF) en colaboración con Grütter Consulting, 2018).

### 5.6.3 Infraestructura eléctrica para buses eléctricos con catenaria.

Para el proyecto APP Bogotá Eléktrika se presentaron los diseños de infraestructura eléctrica requerida para la alimentación de la flota de buses eléctricos articulados piso alto con catenaria para el sistema Transmilenio (Fotografía).



Fotografía 5-5. Bus eléctrico con catenaria, Quito. (Velandia, 2014)

El proyecto consideró un diseño de catenaria con sobrepaso en estaciones, subestaciones de tracción a una distancia aproximada de 1.5 kilómetros (Fotografía) y capacidad de sobrecarga para operación N-1, nivel de tensión 750 V, postes y tensores, entre otros aspectos.

El costo estimado de dicha infraestructura a precios año 2015 fue de USD\$ 1.4 millones aproximadamente por kilómetro doble de catenaria. Así mismo, se consideró un costo de mantenimiento anual estimado de 1% de la inversión.



Fotografía 5-6. Subestación de tracción y alimentación para catenarias, Sao Paulo. (Velandia, 2015)

## 5.7 PREVISIÓN DE COSTOS PARA ESTACIONES DE CARGA EN COLOMBIA

Para los análisis de previsión de costos estimados de una estación de carga rápida en Colombia se tomarán los siguientes supuestos:

Tabla 5-11. Descripción de condiciones para la previsión de costos para estaciones de carga en Colombia.

Descripción	Caso base	Caso ácido
Tipo de Carga	Rápida	Rápida
Cantidad de Cargadores	1	1
Capacidad	50 kW	50 kW
Obra Civil	Básica	Básica
Obra Eléctrica	Básica	Instalación de Subestación
Servicios de Red	Básico	Completo
EVs Cargando por Día	10	25
Horas de Uso Diario EVSE	4	10
Horas de Uso Anuales EVSE	1460	3650
Capacidad de Recarga EVs	43.5 kW	43.5 kW
Costo de Energía	Regulado (\$450/kWh)	Regulado (\$450/kWh)
Personal	0	0
Seguridad	No cuenta	No cuenta

### 5.7.1 Caso base

El caso base, corresponde a la instalación de una electrolinera de carga rápida con un cargador de 50 kW de potencia; las adecuaciones en obra civil son sencillas y la obra eléctrica no contempla la instalación de una subestación, asumiendo que la red ya cuenta con esta facilidad, por lo que la obra eléctrica corresponde a la instalación de los ductos, tableros y el cableado.

Respecto a los servicios de red, se refiere al servicio del cargador conectado a la red y herramientas web, que permite monitorear el cargador y ver el estado en tiempo real.

Ahora, se asume que la cantidad de EVs que cargan en el día son 10, es decir, que tiene 4 horas de uso efectivas diarias asumiendo un tiempo de carga promedio de 24 minutos.

La capacidad de recarga de los EVs hace referencia a la velocidad de carga en potencia que soporta el EV, ya que no todos los EVs pueden soportar la carga

máxima de 50 kW. Para este caso, se tomó el promedio de la capacidad de recarga del BMW i3 y del Nissan Leaf que tienen 45 kW y 42 kW de velocidad de recarga respectivamente (Kane, 2018), que corresponde a 43.5 kW.

Se asume que no cuenta con personal, debido a que la electrolinera es autoservicio y los pagos se realizan a través de aplicativos o por medios electrónicos en el punto de recarga.

Respecto a la seguridad, se asume que por el momento, las instalaciones en espacio público se harán en estacionamientos, centros comerciales y EDS, las cuales cuentan con un esquema de seguridad.

*Tabla 5-12. Capex para Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida.*

CAPEX	COSTO [COP]	DESCRIPCIÓN
Cargador	136,620,000	Cargador de 50 kW
Obra Civil	4,000,000	Excavaciones, concreto
Obra Eléctrica	14,000,000	Instalación Conduit, Cableado, otros
Equipos Eléctricos	5,500,000	Breakers, tableros, contador
Otros	7,500,000	Ingeniero Especializado para Puesta en Marcha
<b>TOTAL</b>	<b>167,620,000</b>	

De la Tabla 5-12, para una electrolinera básica de carga rápida, que no requiere instalación de una subestación y no tiene el pago de único para acceder a todos los servicios de red, el CAPEX asciende a \$167,620,000 COP (\$48,585 USD).

El CAPEX de una estación de gasolina con tres (3) islas, el costo de la infraestructura puede ascender a COP \$1,500 millones (Estrada, 2014), que es un equivalente a COP \$500 millones por isla. Al comparar los valores, el costo de la infraestructura para una electrolinera es más baja que para una estación de gasolina.

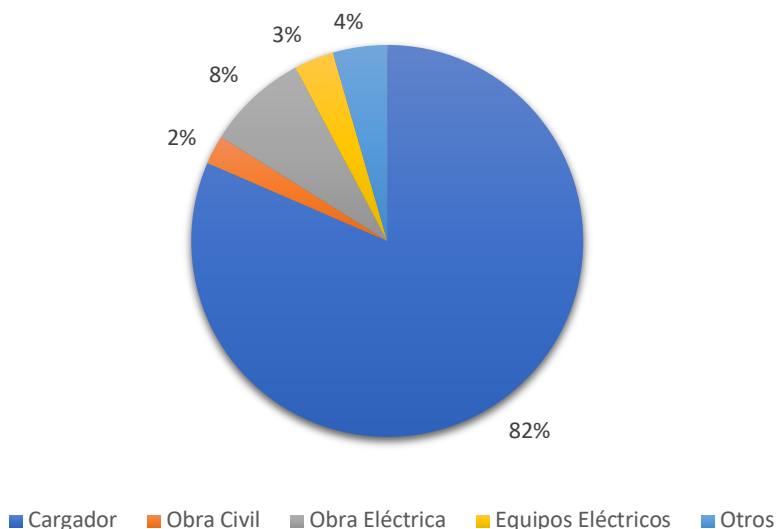


Figura 5-8. Porcentaje de Capex para Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida.

De los más de COP\$167 millones de inversión, el 82% corresponde únicamente al costo del cargador, el 18% restante se divide entre las obras, los equipos requeridos y otros gastos como el ingeniero especialista para la puesta en operación del cargador.

Ahora, los costos de operación y mantenimiento (OPEX) se presentan a continuación:

Tabla 5-13. Costos de O&M para una Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida.

OPEX (Anuales)	COSTO [COP]	DESCRIPCIÓN
Suministro de Energía	28,579,500	1460 horas anuales; 43 kW de carga; \$450/kWh
Servicios de Red	1,435,000	Cargador Conectado + Cuidado del Conductor
Alquiler del Terreno	6,369,000	Un parqueadero con 27.5 m2 y \$19,300/m2
Mantenimiento	1,676,200	Mantenimiento Preventivo (1% del CAPEX)
Seguros	838,100	Seguro Todo Riesgo (0.5% CAPEX - Anual)
<b>TOTAL</b>	<b>38,897,800</b>	

El OPEX asciende a más de COP\$38 millones anuales, de los cuales los rubros más importantes corresponden a la compra de energía a precio de agente regulado, por lo que obtiene una tarifa en Colombia de \$450 COP/kWh en promedio, que tiene un costo de COP\$28.5 millones y corresponde al 73% del OPEX.

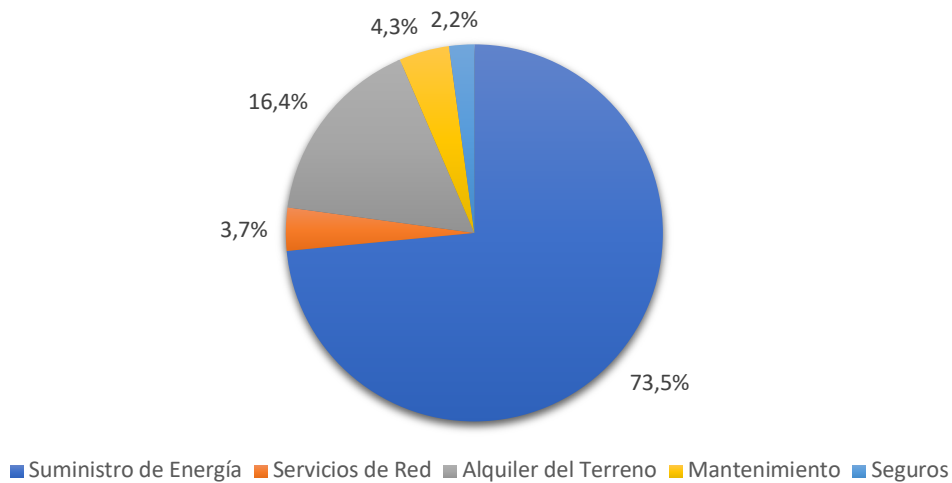


Figura 5-9. Porcentaje de Costos de O&M para Electrolinera (Caso Básico) de Carga Rápida

La electrolinera debería tener la capacidad de ser autoservicio, de manera que el costo de personal se pueda ahorrar y los pagos se realicen únicamente con tarjeta.

### 5.7.2 Caso ácido

El caso ácido, corresponde a la instalación de una electrolinera de carga rápida con un cargador de 50 kW de potencia; las adecuaciones en obra civil son sencillas y la obra eléctrica contempla la instalación de una subestación, la instalación de los ductos de cables y el cableado.

Respecto a los servicios de red, se refiere a que se encuentra conectado a la red y tiene todos los servicios que éste ofrece, como API para integración con Back office, Herramientas Web que permite monitorear el cargador y obtener estadísticas y el diagnóstico remoto por parte del fabricante para monitorear el estado del cargador, ofrecer servicio técnico en línea y diagnóstico avanzado de los componentes del cargador.

Ahora, se asume que la cantidad de EVs que cargan en el día son 25, es decir, que tiene 10 horas de uso efectivas diarias asumiendo un tiempo de carga promedio de 24 minutos.

La capacidad de recarga de los EVs hace referencia a la velocidad de carga en potencia que soporta el EV, ya que no todos los EVs pueden soportar la carga máxima de 50 kW. Para este caso, se tomó el promedio de la capacidad de recarga del BMW i3 y del Nissan Leaf que tienen 45 kW y 42 kW de velocidad de recarga respectivamente (Kane, 2018), que corresponde a 43.5 kW.

Se asume que no cuenta con personal, debido a que la electrolinera es autoservicio y los pagos se realizan a través de aplicativos o por medios electrónicos en el punto de recarga.

Respecto a la seguridad, se asume que por el momento, las instalaciones en espacio público se harán en estacionamientos, centros comerciales y EDS, las cuales cuentan con un esquema de seguridad.

A continuación, se presenta un resumen de los costos de inversión para una electrolinera con las características mencionadas anteriormente.

Tabla 5-14. Capex para Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida.

CAPEX	COSTO [COP]	DESCRIPCIÓN
Cargador	136,620,000	Cargador de 50 kW
Obra Civil	4,000,000	Excavaciones, concreto
Obra Eléctrica	14,000,000	Instalación Conduit, Cableado, otros
Equipos Eléctricos	85,000,000	Breakers, tableros, contador, subestación 75 kVA
Otros	22,818,000	Ingeniero Especializado para Instalación
<b>TOTAL</b>	<b>262,438,000</b>	

De la Tabla 5-14, para una electrolinera (caso ácido) de carga rápida, que requiere instalación de una subestación y tiene el pago de único para acceder a todos los servicios de red (\$4,400 USD), el CAPEX asciende a \$262,438,000 COP (\$76,069 USD).

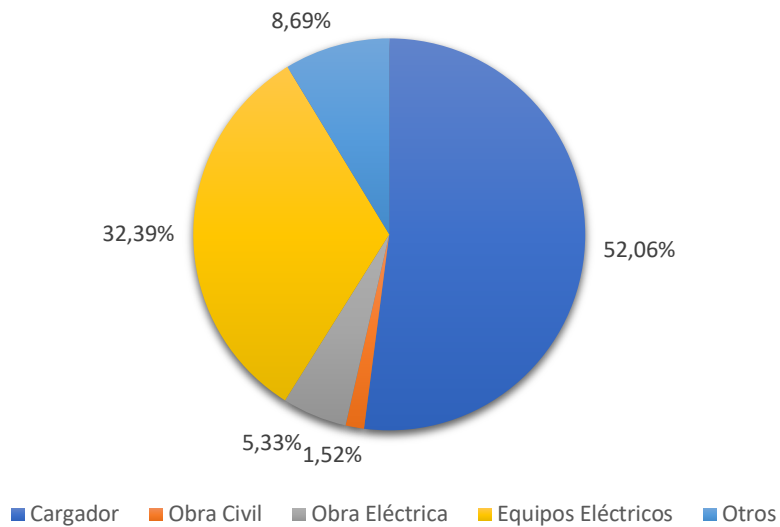


Figura 5-10. Porcentaje de Capex para Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida.

En una electrolinera (caso ácido), nuevamente el cargador es quien tiene el mayor porcentaje al momento de realizar la inversión con un 52%, pero los equipos eléctricos también tienen un alto porcentaje con un 32%, por lo que el montaje de la subestación incrementa considerablemente los costos.

Ahora, los costos de operación y mantenimiento (OPEX) se presentan a continuación:

Tabla 5-15. Costos de O&M para una Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida.

OPEX (Anuales)	COSTO [COP]	DESCRIPCIÓN
Suministro de Energía	71,448,750	3650 horas anuales; 43 kW de carga; \$450/kWh
Servicios de Red	3,321,500	Todos los servicios de red
Alquiler del Terreno	6,369,000	Un parqueadero con 27.5 m2 y \$19,300/m2
Mantenimiento	2,624,380	Mantenimiento Preventivo (1% CAPEX)
Seguros	1,312,190	Seguro Todo Riesgo (0.5% - CAPEX)
<b>TOTAL</b>	<b>85,075,820</b>	

El OPEX asciende a más de COP\$85 millones anuales, de los cuales los rubros más importantes corresponden a la compra de energía a precio de agente regulado, por lo que obtiene una tarifa de \$450 COP/kWh y tiene un costo de COP\$71.4 millones, lo que corresponde a cerca del 84% del OPEX.

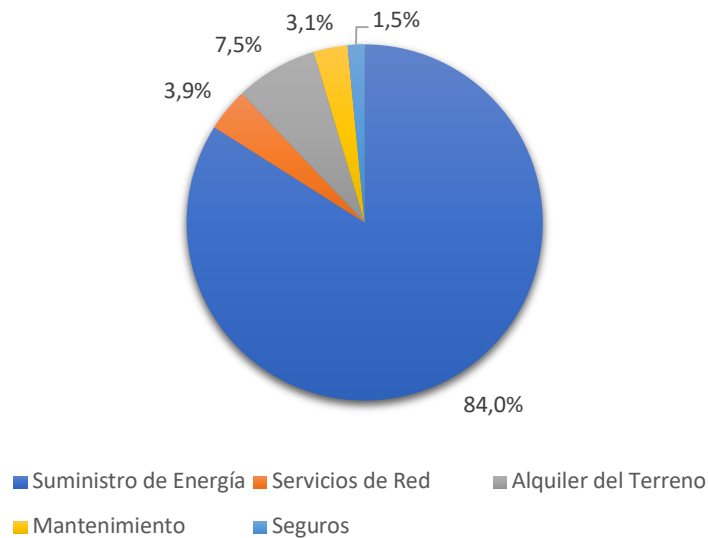


Figura 5-11. Porcentaje de Costos de O&M para Electrolinera (Caso ácido) de Carga Rápida.

La electrolinera debería tener la capacidad de ser autoservicio, de manera que el costo de personal se pueda ahorrar y los pagos se realicen únicamente con tarjeta.



## 6 TENDENCIAS DE DESPLIEGUE DE EVSE DE CARGA RÁPIDA

Actualmente, existen grandes despliegues de EVSE de carga rápida en el mundo. El crecimiento se ha dado de forma orgánica o por planes del gobierno nacional.

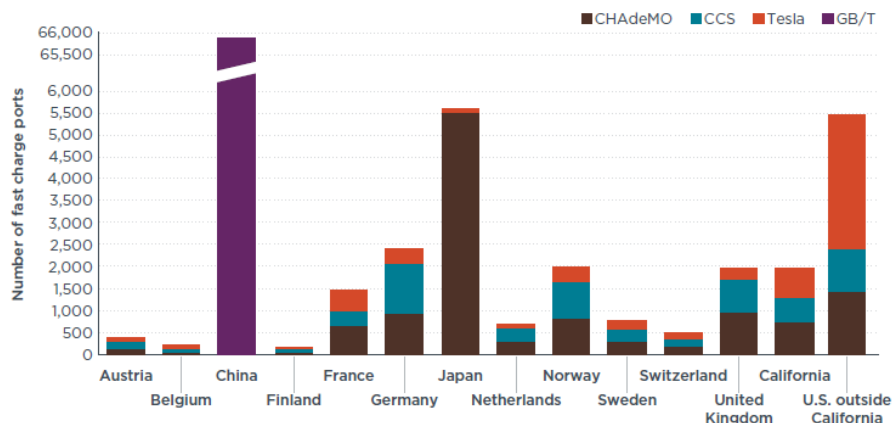


Figura 6-1. Número de puntos de carga rápida en los principales mercados de vehículos eléctricos por tipo de conector a partir del 1 de enero de 2018. (Nicholas & Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)

De la Figura 6-1 se puede ver que China y Japón son los dos países que han tenido mayor despliegue de EVSE de carga rápida, seguido de Estados Unidos con una gran cantidad de cargadores de Tesla en los diferentes estados.

Muchos de los intentos para desplegar EVSE de carga rápida han sido llevado a cabo por el gobierno, compañías de vehículos y empresas distribuidoras de la red. Uno de los primeros despliegues en cargadores rápidos fue realizado por Tokyo Electric Power Company (TEPCO) (Nicholas & Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018). TEPCO instaló cargadores rápidos a lo largo del metro de Tokio y los viajes en EVs fueron monitoreados antes y después de la instalación de los cargadores. Al revisar los datos, notaron que había aumentado la cantidad de viajes y que usaban un mayor porcentaje de la autonomía del EV porque tenían una opción de respaldo.

La red de supercargadores de Tesla es otro despliegue temprano en cargadores rápidos que continúa creciendo con más de 14,000 puntos en todo el mundo (Tesla, 2019) para 2019. Este proyecto fue financiado por Tesla y lo hizo con el fin de poder dar más seguridad a sus compradores y así incrementando el valor de sus vehículos. A pesar de que no usan la red de supercargadores tan a menudo, el hecho de que un conductor de Tesla pueda viajar largas distancias se convirtió en un punto fuerte de venta de sus vehículos.

Otro proyecto de despliegue en carga rápida es el EV Project (Proyecto EV) financiado por el Departamento de Energía de Estados Unidos. El presupuesto para

este proyecto fue de \$225 millones de dólares de los cuales \$115 millones fueron dados a ECOTality para desplegar estaciones que incluyeran 69 puntos de carga rápida (Francfort, Salisbury, & Smart, 2017).

Varias empresas y gobiernos han anunciado sus planes de expansión en instalación de estaciones de carga rápida. El caso de Electrify America es de los más notables, debido a su gran cantidad de estaciones de carga rápida a instalar (cerca de 2,000), en más de 500 locaciones, con una potencia de 350 kW para finales de 2019 (Electrify America, 2019).

### 6.1.1 Relación de EVs por punto de carga rápida

Existen diversos estudios que responden la pregunta de cuántas estaciones de carga rápida son necesarias y ayudan a determinar los sitios apropiados para ubicarlos.

La Figura 6-2 muestra estimados de cantidad de estaciones de carga rápida basado en diferentes estudios. El eje horizontal representa la penetración de los EV y el eje vertical representa la cantidad de BEVs por punto de carga rápida. Como se muestra en la figura, el rango estimado varía desde 26 BEVs por punto de carga rápida hasta cerca de 1,800 BEVs por punto de carga rápida.

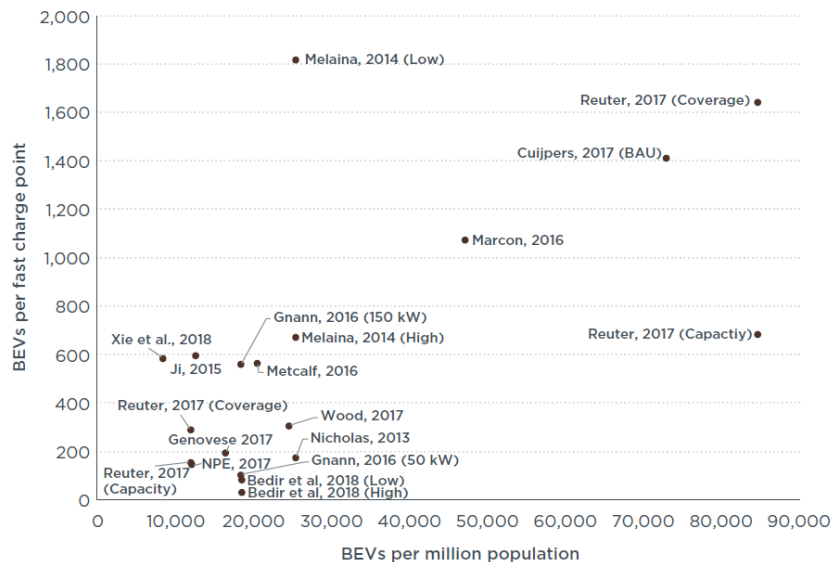


Figura 6-2. Estimaciones de BEV por cargador rápido en varias etapas del desarrollo del mercado en modelos seleccionados. (Nicholas & Hall, Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments, 2018)

En la Figura 6-2 se puede ver que existen muchas diferencias entre los estudios para determinar la relación entre EVs y EVSE de carga rápida. Esto se debe particularmente a las diferencias entre los supuestos usados en cada uno de los estudios.

## 7 ESTRATEGIAS PARA EL DESPLIEGUE DE ESTACIONES PÚBLICAS DE CARGA.

### 7.1 ESTRATEGIAS GENERALES

Los gobiernos y las empresas privadas han estado impulsando la infraestructura de carga por varios años, resultando en más de 200.000 estaciones de varios tipos alrededor del mundo. Los procesos de implementación y el estado de la infraestructura de carga varían de un país a otro, así como de ciudad en ciudad, no obstante, se han presentado estrategias comúnmente utilizadas para el rápido despliegue de carga pública. A continuación, se mencionan las estrategias más relevantes a nivel internacional:

- **Fondos del Gobierno:** Los aportes de recursos por parte del Gobierno son esenciales en las etapas iniciales de los programas de despliegue de infraestructura de carga, por lo menos, mientras se desarrolla el mercado y se reducen los costos tecnológicos a partir de innovaciones en el sector y la mayor producción de esta tecnología.

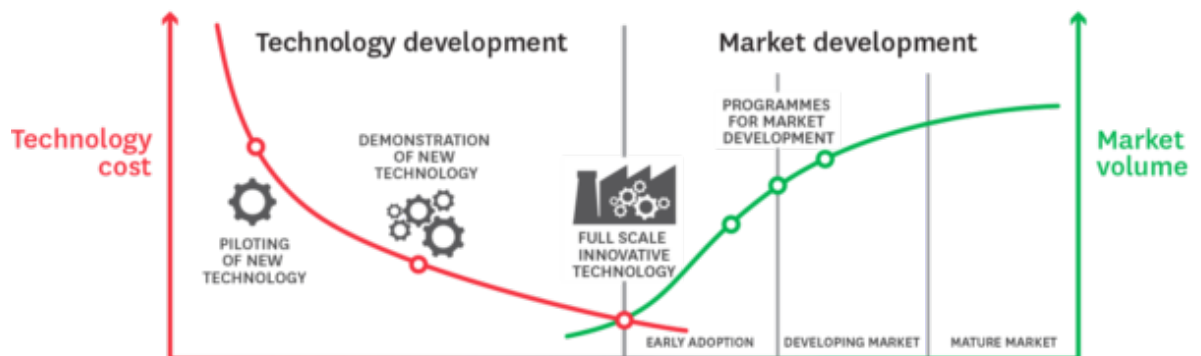


Figura 7-1. Desarrollo de los mercados de nuevas tecnologías

Dentro de estos fondos se consideran, los subsidios directos para la compra de las electrolineras, la distribución de fondos a los gobiernos locales, la creación de fondos y empresas especiales para la financiación de estos proyectos, la creación de asociaciones público-privadas y la integración de las empresas de servicios eléctricos. Generalmente, estos recursos están destinados a mejorar la capacidad de la red eléctrica para soportar la infraestructura de carga, subsidios a la investigación y desarrollo (menor costo futuro) y en proveer subsidios para las primeras etapas de despliegues de electrolineras en los países. Así mismo, los gobiernos crean y financian programas que se dirigen a segmentos de mercado difíciles, como estaciones de carga en la acera, viviendas de varias unidades y carga rápida interurbana.

- **Desarrollo de políticas públicas para incentivar el despliegue de electrolineras:** los gobiernos pueden decretar políticas para incentivar en otros agentes la implementación de infraestructura de carga. Esto comienza desde la delimitación de estrategias nacionales de movilidad eléctrica que incluyan acciones para el despliegue de electrolineras, hasta políticas específicas sobre los actores involucrados en la implementación de tecnología. Es así se han impulsado políticas como:
  - La modificación de los códigos de construcción para exigir una infraestructura eléctrica y un número mínimo de estaciones de carga EV en las nuevas construcciones y en estacionamientos comerciales y municipales reconstruidos.
  - Decreto de zonas de bajas emisiones lo cual puede i) obligar a las estaciones de servicio a instalar estaciones de carga para vehículos eléctricos; ii) prohibir la circulación de vehículos a gasolina en estas; y/o, iii) implementar cobros por contaminación que permitan obtener recursos adicionales a la ciudad para los programas de implementación de infraestructura de carga.
- **Integración entre actores:** Los enfoques multifacéticos y colaborativos han tenido gran éxito en la promoción del desarrollo temprano de la infraestructura de carga. En este punto se resaltan casos en que los fabricantes de vehículos eléctricos junto con las empresas de energía realizan inversiones en infraestructura de carga mediante modelos de negocio rentables. Esto ha permitido el despliegue de las electrolineras a través de la implementación de sistemas de carga inteligente, el cual permite estudiar el comportamiento de los conductores y sus patrones de consumo, para así múltiples ventajas en este proceso a nivel de costos. No obstante, lo anterior adquiere mayor eficiencia cuando hay una integración con las autoridades locales de transporte, planeación urbana de la ciudad y empresas de servicios públicos. Lo anterior teniendo en cuenta que para mitigar los impactos de la red de carga rápida (sobrecarga de la red eléctrica), se pueden combinar con el almacenamiento de energía que se descarga durante el tiempo de demanda máxima y se pueden implementar tasas de tiempo de uso (TOU). Además, las tecnologías de “vehículo a red” (V2G), una vez comercialmente viables (actualmente en etapa de prueba / piloto), ayudarían a los propietarios de vehículos eléctricos a alimentar la energía a la red y ayudarían a los proveedores de energía a satisfacer la demanda durante los períodos pico.

## 7.2 ANÁLISIS CASOS DE ÉXITO A NIVEL INTERNACIONAL EN EL DESPLIEGUE DE ESTACIONES PÚBLICAS DE CARGA RÁPIDA.

A medida que la infraestructura de carga continúa expandiéndose, se ha entrado en discusión sobre el equilibrio ideal entre la carga rápida (DC), lenta (AC/Nivel 2). A pesar de que esta relación difiere entre países y ciudades, la expansión de la infraestructura de carga pública ha sido principalmente de carga lenta (niveles I y II), dada su conveniencia económica en la inversión de la estación y los menores costos de electricidad. Sin embargo, es evidente que muchos países están conscientes que la carga rápida (DC/Nivel III) permite aliviar la "ansiedad de rango" para el conductor de vehículos eléctricos, lo cual adquiere una gran importancia en los viajes interurbanos, los vehículos de pasajeros (buses eléctricos escolar y privado) y los conductores de taxis. De esta manera, debido a que en un ciclo de carga de diez minutos un cargador rápido puede proporcionar suficiente energía para permitir que un pasajero EV pueda operar por varios kilómetros, la carga rápida puede ayudar a permitir el rápido crecimiento del mercado de vehículos eléctricos al minimizar el tiempo de inactividad del vehículo (Botsford & Szczepanek, 2009).

El promedio global de estaciones de carga rápida sobre el total de estaciones de carga pública en las ciudades es de aproximadamente 20%. Este porcentaje varía dependiendo las necesidades del parque automotor, de características de los viajes de los usuarios, de las políticas de cada ciudad/país y del agente que ha desarrollado esta infraestructura. Por ejemplo, las ciudades de China tienden a tener la mayor proporción de puntos de carga rápida: aproximadamente 30 a 40% de todas las instalaciones públicas de carga debido a que las instalaciones de sus se han realizado a través de las empresas de servicios públicos. Otro caso importante para mencionar es Noruega, el cual ha impulsado una vasta red de estaciones públicas de carga rápida a lo largo del país, con el objetivo de que los usuarios de vehículos eléctricos tengan las condiciones adecuadas para cumplir con las largas distancias de los viajes interurbanos del país.

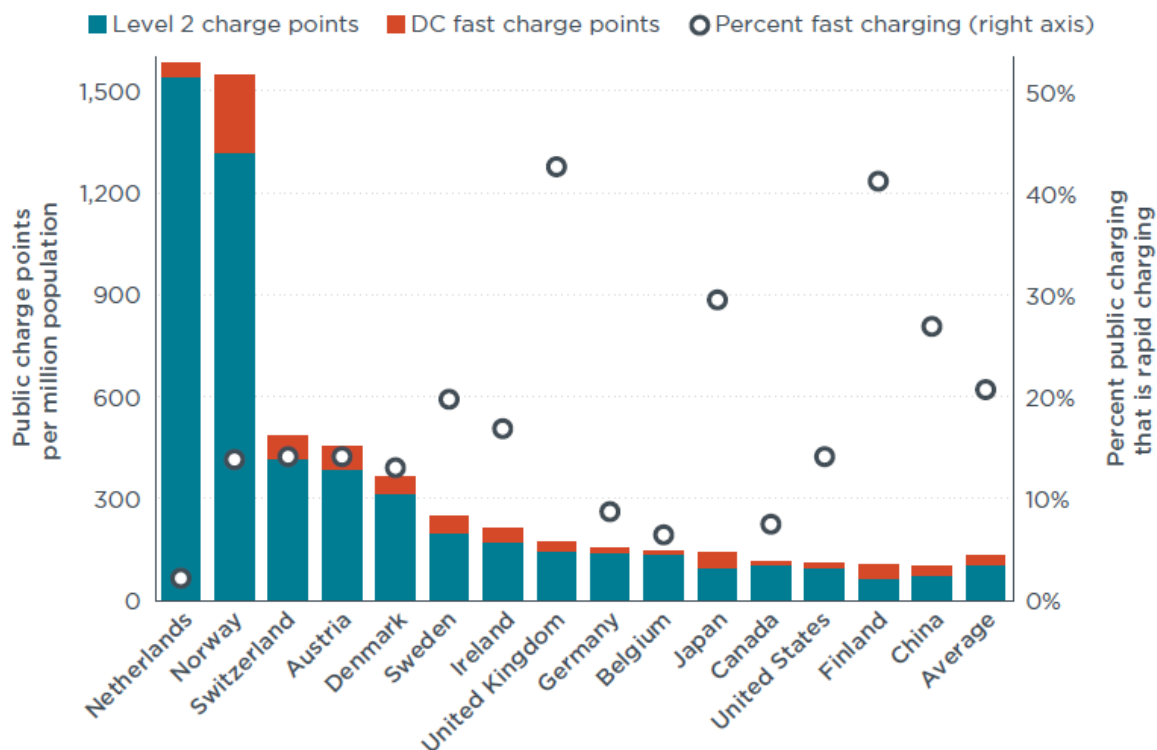


Figura 7-2. Participación de la carga rápida pública en el total de carga pública en países.

A continuación, se analizan las estrategias utilizadas por los países para el despliegue de las estaciones de carga rápida pública en los países que cuentan con un mayor número de estas estaciones.

### 7.2.1 China

China es el país con el mayor número de estaciones de carga pública en el mundo, 330.000 estaciones, lo cual ha sido promovido principalmente desde el Gobierno, a través de políticas nacionales que establecieron metas nacionales para la implementación de la infraestructura de carga (Hove & Sandalow, 2019). Así en 2015, la Oficina General del Consejo de Estado mediante los *Lineamientos de construcción de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos*, y la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma y la Oficina de Energía Nacional mediante los *Lineamientos para el desarrollo de infraestructura de carga de vehículos eléctricos (2015 – 2020)*, establecieron las siguientes facilidades para el desarrollo de esta infraestructura:

- i) Apoyar la construcción y la operación de las instalaciones de carga mediante subsidios del 30% en la inversión de estas tecnologías;

- ii) Permitir a los dueños de los derechos de uso de la tierra cooperar con otros actores del mercado e invertir en la construcción y operación de infraestructura de carga;
- iii) Establecer que las áreas de los diferentes tipos de edificios deben estar equipados con un espacio mínimo (10-18%) para la infraestructura de carga en lugares tales como estacionamientos, estaciones de buses y estacionamientos públicos;
- iv) Establecer que los gobiernos locales deben proporcionar un punto de carga por cada 8 vehículos eléctricos, en donde se indica que las estaciones de carga deben estar a no más de 1 km de cualquier punto dentro del área central de la ciudad; y,
- v) Prefijar que la Corporación Estatal de la Red Eléctrica de China (State Grid Corporation of China) debía llevar a cabo activamente la construcción y transformación de las redes eléctricas para soportar las construcciones de puntos y estaciones de carga y así garantizar el acceso a la red (UPME, 2017).

Frente a este último punto, la Corporación Estatal de la Red Eléctrica de China se encuentra desarrollando plazas de carga rápida en los principales corredores interurbanos del país, para el cual se establecieron como meta la construcción de 120.000 estaciones de carga rápida para 2020. Así, la intervención del Estado ha sido clave para el desarrollo de diferentes modelos de negocio para instalaciones públicas de carga rápida, en donde ya se puede encontrar, además de las empresas estatales de energía como Corporación Estatal de la Red Eléctrica de China y Protevio New Energy, a los fabricantes de vehículos como BYD y Tesla, a las alianzas entre fabricantes de vehículos y fabricantes de estaciones como Geely Auto y Tellus Power Group (Ma, Zhai, & Wu, 2019), e incluso, a *joint ventures* entre empresas extranjeras de servicios de gas y petróleo, como BP, y las empresas de servicios de conducción como Didi, las cuales establecieron planes de construir 200 estaciones de carga rápida (Chitkara, 2019), lo que demuestra el avance del ecosistema y el mercado de esta infraestructura en China.

Otro de las estrategias que ha utilizado el Gobierno Chino para el caso de las provincias con menor capacidad financiera, lo que les impide alcanzar los objetivos de infraestructura de carga establecidos para 2020, es implementar Asociaciones Público-Privadas (APP) para el desarrollo de esta infraestructura. El objetivo principal de estos proyectos es compartir costos, riesgos e ingresos entre socios públicos y privados. El socio público a menudo es responsable de asignar terrenos adecuados, integrar de las estaciones con la plataforma de cobro en línea, las tarifas a los usuarios y la obtención de los permisos de construcción. El socio privado generalmente tiene la responsabilidad de la ejecución técnica del proyecto, la operación y los mantenimientos mayores. Las APP son un camino prometedor para construir infraestructura de carga en el futuro, lo que permite la entrada de nuevos

inversionistas privados a partir de las garantías y riesgos que asume el gobierno (Wang & Ke, 2018).

### 7.2.2 Japón

En Japón casi el 30% de las estaciones de carga pública son de carga rápida. Esta alta proporción de carga rápida ha sido posible mediante la creación del “Proyecto de promoción de despliegue de infraestructura la carga masiva de vehículos de próxima generación” (*Next Generation Vehicle Charging Infrastructure Deployment Promotion Project*) para financiar estaciones de carga alrededor de ciudades y estaciones de descanso en carretera en 2013 y 2014 (CHAdeMO Association, 2016). Otra de las estrategias más importantes para el despliegue de las estaciones públicas de carga rápida ha sido la integración de los fabricantes, el gobierno y las empresas de energía para impulsar y financiar esta infraestructura mediante modelos APP. Así, resultaría la creación de la compañía Nippon Charge Service (NCS), a partir de la asociación del Banco de Desarrollo de Japón, los fabricantes Nissan, Toyota, Honda, Mitsubishi y la compañía eléctrica TEPCO, la cual busca implementar una red nacional de estaciones pública de carga (incluidas muchas estaciones de carga rápida) que actualmente ha realizado la instalación de 7.500 cargadores públicos (aprox. 2.250 de carga rápida) (Lutsey & Hall, 2017).

### 7.2.3 Europa

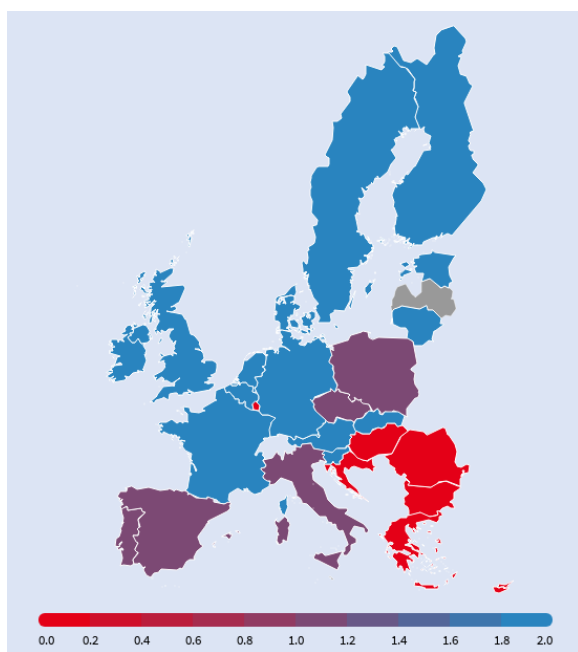


Figura 7-3. Estaciones de carga rápida cada 60 Km  
Fuente: (Mathieu, 2018)

Europa ha tenido un gran despliegue de estaciones de carga rápida pública, principalmente en la zona noroeste, en Noruega, Holanda, Francia, Alemania y Reino Unido. Esta situación parte desde las regulaciones que ha impulsado la Unión Europea para lograr que todos los puntos de recarga accesibles al público se construyan con una cobertura adecuada, para permitir que los vehículos eléctricos circulen al menos en aglomeraciones urbanas / suburbanas y otras áreas densamente pobladas (Parlamento Europeo, 2014). Es así como la Comisión Europea (CE) tiene varios grandes programas de financiación para investigación y desarrollo y soporte directo para infraestructura Transporte transeuropeo, las Redes (TEN-T),

Connection Europe Facility (CEF) y Horizon 2020. La financiación inicial se destinó principalmente a la investigación para desarrollar una carga rápida rentable redes,



lo cual ha seguido con la instalación de estaciones de carga rápida en corredores clave de Europa (IEA, 2018b).

*Tabla 7-1. Estaciones de carga pública en países europeos*

<b>País</b>	<b>Carga Lenta</b>	<b>Carga Rápida</b>	<b>Total</b>
Holanda	36.010	952	36.962
Alemania	22.314	3.848	26.162
Francia	22.507	2.263	24.770
Reino Unido	14.160	3.998	18.158
Noruega	9.000	2.535	11.535
<b>Total</b>	<b>103.991</b>	<b>13.596</b>	<b>117.587</b>
<b>Europa</b>	<b>132.534</b>	<b>22.256</b>	<b>154.790</b>
<i>%Total Europa</i>	<i>78,46%</i>	<i>61,09%</i>	<i>75,97%</i>

*Fuente: (Global Transmission Report, 2018)*

Como se puede ver en la Tabla 7-1, las estaciones de carga pública se ubican principalmente Holanda, Alemania, Francia, Reino Unido y Noruega. Si bien los cargadores rápidos actualmente forman una pequeña proporción del total de la infraestructura de carga pública en Europa, el continente está emergiendo como uno de los destinos más populares para el despliegue de estaciones de carga rápida DC. Lo anterior, parte de que la infraestructura de carga en Europa ha llegado a un punto en donde existe un mercado y cada vez es menos necesaria la intervención del Estado. Así, la infraestructura eléctrica ha sido implementada a través de diferentes estrategias como combinación de servicios privados, proveedores de puntos de recarga, compañías eléctricas y fabricantes de automóviles.

Un ejemplo de esto es compañía energética con sede en Austria Verbund, la cual está liderando el proyecto de Carga Ultrarrápida en Europa central (CEUC), cuyo objetivo es desplegar 118 cargadores de alta potencia en siete países de la UE con una inversión de 61 millones de euros. Para este proyecto, la empresa cuenta con el apoyo del fondo para la conexión de Europa (CEF) de la Comisión Europea. Verbund también forma parte de otra iniciativa, la E-Via Flex-E, liderada por Enel (empresa multinacional de energía con sede en Italia) y cofinanciada por la Comisión Europea (6,9 millones de euros), el cual propone instalar 14 estaciones de carga ultrarrápidas en Italia, Francia y España. Este proyecto cuenta con la participación de las empresas EDF y Enedis, empresas de servicios públicos con sede en Francia, los fabricantes de automóviles Nissa y Renault y la empresa fabricante de instalaciones de carga de España, Ibil.

Así, se ha visto que en la Unión Europea se han creado diferentes esquemas de financiación apoyados por fondos de colaboración europeos, y se han impulsado *joint ventures* entre empresas involucradas en el desarrollo de instalaciones de carga y asociaciones público-privadas. Estos esquemas han sido claves en los

planes de implementación de estaciones de carga ultra rápida como se puede ver en la siguiente figura.

Tabla 7-2. Planes de redes de carga Ultrarrápida en Europa (Global Transmission Report, 2018)

Name	Stations/chargers	Partners	Location	Details
Ionity	400 / ~2,400	BMW, Mercedes, Ford, VW Group (Porsche and Audi)	24 countries	By 2020; partner with Shell
Ultra-e	25 / ~100	Allego, Audi, BMW Magna, Renault, Hubject	Netherlands (5), Belgium (4), Germany (12) and Austria (4)	Completion by summer 2018. Sites at average distance of 150-200 km
E-Via Flex-E	14/~60	Enel (coordinator) EDF, Enedis, Verbund, Nissan, Renault and Ibil	Italy (8), Spain (4), France (2)	Co-financed by EC
MEGA-E	39/322	Allego	20 countries (central Europe and Scandinavia)	Focuses on metropolitan areas with e-charging hubs (EU funding)
Central European Ultra Charging (CEUC)	118 / NA	Verbund (coordinator), CEUC, Enel X, Smatrics, Greenway, OMV	Austria, Czech Republic, Italy, Hungary, Romania, Bulgaria and Slovakia	EU financed 20% of the total cost (EUR12 million out of EUR61 million)
NEXT-E	30 / NA	E.ON, MOL, HEP, PETROL, Nissan, BMW	Czech Republic, Slovakia, Croatia, Hungary, Slovenia, and Romania	222 fast (50 kW) chargers are also included (EC funding)
E.ON xClever	180 / NA	E.ON and Clever	Germany, France, Norway, Sweden, UK, Italy and Denmark	2-6 chargers per station (EC funding)
Instavolt network	NA / 200	Instavolt	UK	Equipment from ChargePoint
Fastned network	25	Fastned	Germany, Netherlands, UK	Equipment from ABB. More sites expected
Pivot Power and the National Grid	45/100	Pivot Power and the National Grid	UK	50 MW battery storage
EnBW	100-1000/ 800	EnBW and OMV	Germany	2 chargers per site first, cooperation with gas provider OMV, focus on urban areas

A continuación, se presenta una revisión específica de las principales estrategias utilizadas por cada uno de los países europeos para el despliegue de la infraestructura pública de carga rápida.

### 7.2.3.1 Reino Unido

El gobierno creó la Oficina de Vehículos de Baja Emisión (OLEV, por sus siglas en inglés), para fomentar la construcción de infraestructura de carga en ese país. Esta entidad se encarga de la planeación y el apoyo para la implementación de la infraestructura de carga a nivel nacional y a nivel residencial, con el cual se proveen subsidios que llegan a cubrir el 75% de los costos de *hardware* de estas estaciones (OLEV, 2019). Estos subsidios han permitido reducir costos y maximizar la coordinación de instaladores, conductores y ciudades.

A esto se le suma las acciones de las autoridades locales en la creación de grupos de trabajo específicos sobre infraestructura de vehículos eléctricos para elevar el número de puntos de carga de vehículos eléctricos en las ciudades. Este es el ejemplo de Londres, donde se impulsó el grupo *Electric Vehicle Infrastructure Taskforce*, el cual funciona como un enlace con el sector privado para lograr un mayor aprendizaje sobre la nueva infraestructura de carga, para establecer ayudas desde el gobierno local para ayudar a las empresas a implementar proyectos de infraestructura de carga (London Assembly, 2018).

Por otra parte, el gobierno ha impulsado iniciativas como “*Go Ultra Low Cities*”, que otorgó £40 millones a varias ciudades para desarrollar iniciativas pioneras que se convirtieran en ejemplos internacionales para la promoción de vehículos de bajas emisiones. Con esta iniciativa se ha logrado impulsar la implementación de infraestructura de carga, y, su resultado fue la creación de centros de carga rápida, puntos de carga en centros residenciales, y pruebas de varias iniciativas de carga en ruta (dentro del casco urbano) para los buses eléctricos (Hall y Lutsey, 2018).

Ante estas acciones del Estado y de los gobiernos locales, la integración entre diferentes actores del sector eléctrico, de transporte y de fabricantes de esta tecnología ha sido esencial en el desarrollo del mercado. National Grid, el operador del sistema de transmisión (TSO) del Reino Unido, está trabajando con Pivot Power LLP, empresa de desarrollo de infraestructura de carga para vehículos eléctricos y de almacenamiento de baterías, para desarrollar una de las redes de estaciones de carga rápida más grandes del mundo para vehículos eléctricos en el Reino Unido. La propuesta de 1.600 millones de libras esterlinas prevé la instalación de 2.250 MW de baterías en 45 subestaciones eléctricas en todo el Reino Unido, aprovechando el sistema de transmisión de alta tensión del país para proporcionar una carga masiva a precios competitivos. La red admitiría inicialmente 100 cargadores rápidos, con un tamaño de 150 kW cada uno, pero también acomodaría cargadores ultrarrápidos de 350 kW una vez que estén disponibles en el Reino Unido (Global Transmission Report, 2018) . El proyecto, está acompañado de un proyecto de redes inteligentes (“*Smart Grids*”) lo cual le dará al operador del sistema más opciones y flexibilidad para administrar la demanda en la red al tiempo que facilita la carga masiva de EV.

### **7.2.3.2 Noruega**

Este país cuenta con una serie de desafíos únicos relacionados con la implementación de infraestructura de carga dada su alta densidad de vehículos eléctricos y sus condiciones climáticas (la temperatura genera un reto adicional pues dificulta la carga rápida). Para ello el gobierno, a través del Plan Nacional de Transporte (2016), estableció metas de disponibilidad de instalaciones públicas de carga rápida de energía para facilitar la conducción de largas distancias y asegurar las operaciones dentro de las ciudades (Lutsey & Hall, 2017). La implementación masiva de estaciones de carga rápida se ha logrado a través de la empresa estatal Enova, financiada con recursos del sector de hidrocarburos (*Oil&Gas*), la cual

introdujo un esquema de suministro de fondos públicos a operadores de infraestructura para que pudieran instalar estaciones de carga en varios de los segmentos viales de las carreteras noruegas. Esta empresa asignó NOK 50,5 millones a través de tres rondas de licitación competitiva, lo cual ha diseñado el esquema para que sea compatible con el mercado de servicios de carga y reduzca las barreras que se han identificado en este tema. Así, este programa tenía el objetivo de cubrir carreteras principales con estaciones de carga rápida cada 50 km (alrededor de 7500 km red de carreteras) (Energy Facts Norway, 2019).

Los operadores ganadores resultan manteniendo la propiedad de las estaciones de carga, lo que ha permitido generar un mercado de servicios de carga en Noruega alimentando la tendencia de que los operadores están construyendo estaciones de carga rápida sin apoyo público, especialmente en las ciudades más grandes y a lo largo de las principales autopistas. Así, Noruega ha llegado al punto donde el desarrollo de estaciones de carga se basa en decisiones comerciales puras (Lorentzen, Haugneland, Bu, & Hauge, 2017).

### 7.2.3.3 Holanda

Holanda es el país en Europa con mayor número de estaciones de carga pública por habitante, la cual está compuesta principalmente por estaciones de carga lenta. Esto hace que las estaciones de carga rápida sean una proporción muy baja del total de estaciones de carga pública, no obstante, es importante resaltar las estrategias innovadoras de este país que lo ha llevado a ser catalogado como líder en la estandarización e interoperabilidad del sistema de movilidad eléctrica (Hall y Lutsey, 2018).

Al igual que el resto de Europa, el gobierno holandés, ha impulsado el despliegue de estaciones de carga pública desde ya hace varios años a través de políticas como “Electric Mobility Gets Up to Speed” y el “Green Deal”, en donde el gobierno impulsó la instalación de cargadores a través de asociaciones y subsidios a las empresas. Así mismo, gran parte de la construcción temprana de la infraestructura de carga se inició por ElaadNL, una fundación creada por seis operadores de redes eléctricas en el país, el cual impulsó la instalación de alrededor de 3.000 estaciones en todo el país, las cuales al día de hoy continúan operando y manteniendo.

No obstante, la estrategia innovadora de este país es el “Open Charge Point Protocol” (OCPP) y “Open Clearing House Protocol” (OCHP), que permiten una comunicación eficiente entre estaciones de carga, la red eléctrica y los propietarios del espacio para garantizar la interoperabilidad de la operación y el pago. De esta manera, varias provincias y municipios han impulsado programas de prueba de infraestructura de carga inteligente a través de licitaciones a empresas operadoras y fabricantes de esta tecnología. Este fue el caso de Engie y EVbox en Rotterdam, los cuales, mediante un modelo de concesión, asumieron la responsabilidad de instalar 5.000 cargadores inteligentes y la provisión del software de seguimiento, lo cual debían operar y mantener por 12 años. La implementación de la carga

inteligente ha permitido la transparencia en el sistema con acceso a los datos de las cargas, la optimización de la infraestructura y limitar el costo debido a la potencia instalada, ahorrar costo de energía optimizando la carga tomando en cuenta las tarifas energéticas y, así, tomar en cuenta producción local de energía.

#### **7.2.3.4 Alemania**

Este país por su parte ha presentado un auge en el apoyo por parte del Gobierno a los programas de infraestructura de carga. En 2017, el gobierno anunció un programa nacional para promover la electromovilidad en Alemania, para la cual creó un fondo de garantías de EUR 200 millones con el objetivo de impulsar la construcción de 5.000 estaciones públicas de carga rápida. En esta, los interesados en desarrollar esta infraestructura, pueden acceder a la financiación de hasta un 60% de la estructura física y la conexión a la red de las estaciones (Lutsey & Hall, 2017).

Adicionalmente, las ciudades han creado sus propios programas para proporcionar incentivos para la implementación de infraestructura de carga, como por ejemplo Múnich que otorgó un subsidio del 20% para la infraestructura de carga pública. Adicionalmente, cabe también mencionar que, al margen de los aludidos subsidios, el negocio de suministro de energía ha permitido que empresas de energía construyan esta infraestructura, pues les ha sido rentable. Este es el caso de la empresa de servicios públicos con sede en Alemania, en BW, la cual en colaboración con el proveedor de gas OMV, tiene el objetivo de instalar y mantener más de 1.000 sitios de carga ultrarrápida para 2020, tanto en las autopistas como en centros urbanos (Global Transmission Report, 2018).

Por último, se destacan los avances en normatividad en el uso del suelo para las instalaciones de carga. En el Código Federal de Construcción (Baugesetzbuch, BauGB) se han definido los principios y procedimientos que deben seguir los municipios al elaborar planes de uso del suelo, el cual incluye la reglamentación general del uso del suelo para la infraestructura de carga. No obstante, las normas específicas que rigen la construcción y expansión de la infraestructura de carga en cada una de las ciudades se pueden encontrar, regularmente, en los códigos de construcción de cada gobierno estatal (Landesbauordnung, LBO), el cual delimita las situaciones específicas donde nuevas estaciones de carga son permitidas (Venselaar, Idema & Endriß, 2019).

#### **7.2.3.5 Francia**

En este país la implementación de estaciones públicas de carga rápida se ha dado principalmente a través de dos estrategias muy similares al resto de Europa. En primer lugar, el Gobierno a través de la Agencia de gestión ambiental y energética ofrecía subsidios a los gobiernos municipales y regionales para financiar la implementación de puntos de carga. No obstante, la estrategia clave para la implementación de carga rápida se ha dado por la intervención de la empresa

estatal de servicios públicos, EDF, la cual ha tenido impulsado la construcción de una red de corredores de carga rápida con más de 200 puntos en el país (Lefevre, 2016).

#### 7.2.4 Estados Unidos

El desarrollo del mercado de la infraestructura de carga ha sido impulsado por una combinación de incentivos e inversiones federales y estatales para el consumidor, regulación de vehículos de cero emisiones política y una serie de actividades de promoción de ciudades estatales y locales (Lutsey & Hall, 2017). En este punto, el gobierno federal ha sido un actor clave en el desarrollo de la infraestructura de carga pública del país en etapas tempranas de esta tecnología, para lo cual, gran parte de la inversión inicial en infraestructura de carga en los Estados Unidos provino de La Ley de Recuperación y Reinversión de Estados Unidos de 2009, que proporcionó fondos federales a través del “*Proyecto de Vehículo Eléctrico*” y el Departamento de Transporte de los EE. UU. Así mismo, cada uno de los Estados ha avanzado en la generación de políticas de incentivos para el despliegue de las estaciones de carga pública, tanto en programas de subsidios, beneficios tributarios y tasas en redescuento, como el programa Charge Ahead Colorado que ofrece créditos fiscales a empresas hasta por USD 16.000 para instalar cargadores públicos, y las tasas preferenciales ofrecidas por el Estado de California para los negocios que implementen estaciones de carga pública. Por otra parte, los Estados han avanzado en el establecimiento de normativas para el desarrollo de infraestructura de carga, como ha sido el “Código CalGreen” también proporciona los lineamientos sobre el número mínimo de espacios de estacionamiento electrificados necesarios para fines comerciales y minoristas y ubicaciones no residenciales (Hove & Sandalow, 2019).

De igual forma, los estados también han definido los corredores de autopistas para el despliegue de estaciones de carga rápida, lo cual se ha estructurado mediante asociaciones público-privadas (APP), en donde la red de carga rápida DC es operado por empresas privadas bajo financiación del gobierno federal y los gobiernos estatales. Este es el caso de la Interestatal 5, que se extiende desde San Diego a Canadá, la cual fue el primer gran corredor de vehículos eléctricos, designado como la carretera eléctrica de la costa oeste.

Por último, es importante destacar que todos estos programas federales y estatales, han logrado crear un mercado para esta tecnología, como es el caso de China, que permite la existencia de diferentes modelos de negocio rentables en la instalación de carga pública, que no requieren de la asistencia del gobierno, como son las redes creadas por empresas independientes de infraestructura de carga (Chargepoint, Evgo, Grenlots y Blink), empresas de servicio público estatales, fabricantes de automóviles (Tesla, Volkswagen, entre otros), negocios comerciales (hoteles, restaurantes y centros comerciales), estaciones de servicio (Sheetz, Royal Farms y Sphinx), entre otros.

## 7.2.5 Latinoamérica

La región todavía enfrenta grandes retos frente al dilema del huevo y la gallina, el cual sugiere que dado que no hay muchos vehículos eléctricos disponibles la infraestructura de carga pública es muy limitada y, a su vez, la infraestructura de carga pública es escasa porque también hay pocos vehículos eléctricos. En general, en países más grandes la tendencia generalmente una empresa de servicios públicos o una red de estaciones de servicio establecida sea quien implemente las instalaciones de carga pública, esto acompañado de políticas y programas de subsidios de los gobiernos. A continuación, se resalta brevemente las estrategias utilizadas hasta el momento por los países latinoamericanos en esta materia.

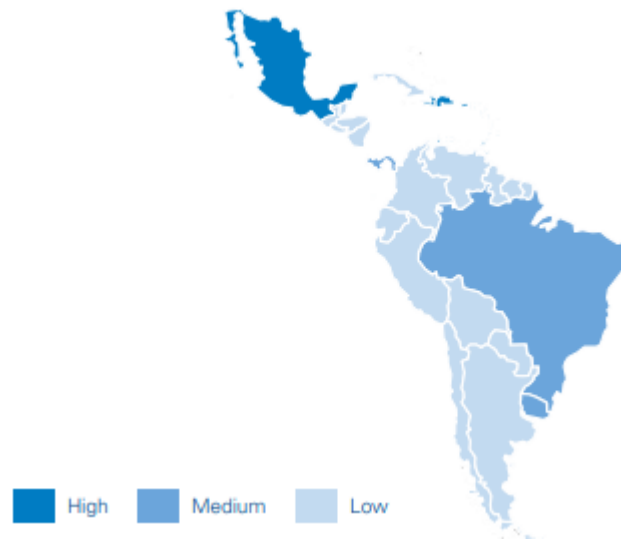


Figura 7-4. Despliegue de la infraestructura en Latinoamérica (Arthur D. Little)

### 7.2.5.1 Chile

La expansión de la infraestructura de carga en el país ha sido jalonada principalmente por las empresas privadas de energía, en donde se destacan las acciones de las empresas Enel y Engie (grupos de electricidad en Chile), las cuales han instalado estaciones de carga pública en Santiago, Valparaíso, Viña del Mar y Concepción (incluyendo rápido y semirápido centros de recarga), y han participado en la hoja de ruta nacional ("Ruta Chile de Electrolineas") para desplegar EVSE públicas en las estaciones de servicio existente (UN Environment, 2018).

Otro punto que cabe destacar, son los avances regulatorios frente a este tema que ha presentado Chile. Al principio de 2018, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (SEC) emitió una comunicación oficial que permite instalar cualquier a cualquier actividad comercial estaciones de carga pública para vehículos eléctricos, abriendo el campo a nuevas empresas que no sean empresas de distribución y venta minorista de electricidad (Electricidad, 2018). En la actualidad, La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) se encuentra trabajando

en la confección final de Pliego Técnico para que Chile cuente con su primera normativa en materia de electromovilidad que regirá para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos. Este pliego cuenta con el estudio de diferentes normativas internacionales, aspectos de interoperabilidad de las estaciones de carga, directrices regulatorias y también una discusión con diferentes agentes del sector en el país, tales como la academia, la Industria, diversos proveedores, asociaciones y actores que han estado involucrados en el desarrollo de proyectos de este tipo en el país. En este pliego se definen los cinco diferentes tipos de instalaciones para la carga de vehículos eléctricos: vivienda, edificios, vía pública, electrolinerías y electroterminales. En cada una de ellas se establecen las características principales que deben cumplir, así como las exigencias mínimas de seguridad y protecciones requeridas según sea el caso (Revista Eléctricidad, 2019).

### 7.2.5.2 México

México es un país pionero en términos de infraestructura de carga, con más de 2.000 estaciones de carga desplegadas, lo cual se ha dado a través de programa nacional, dirigido por Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Energía (SENER), financiada por el Fondo de Transición Energética. Estos programas de financiación desde el Estado, han permitido crear programas de implementación de carga pública en colaboración con sector privado, que incluye despliegue de electricidad corredores en la Ciudad de México, Guadalajara, Saltillo y Monterrey, lo que ha permitido el desarrollo del mercado de esta infraestructura como ha podido evidenciar en la instalación de una estación de cargadores públicos ultra rápidos en Cuernavaca, suministrado por Tesla (UN Environment, 2018).

### 7.2.5.3 Brasil

En este país la electromovilidad ha estado limitada a que Brasil es uno de los principales fabricantes de automóviles del mundo, principalmente en vehículos en biocombustibles, lo que ha limitado el desarrollo masivo de vehículos eléctricos y de la infraestructura de carga. No obstante, desde el Senado se han impulsado proyectos de Ley que obligan a las compañías eléctricas a instalar estaciones de carga pública en puntos estratégicos en cada ciudad. Así, las compañías eléctricas junto con los fabricantes de vehículo, como es el caso de EDP (compañía eléctrica) y BMW Brasil, inauguraron un corredor de carga rápida interestatal para vehículos eléctricos de 434 km, que conecta Sao Paulo y Río de Janeiro en 2017, lo que lo convierte en el mayor corredor de carga para vehículos eléctricos en América latina (UN Environment, 2018).



## 8 ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES DE LAS ACCIONES REQUERIDAS PARA ADOPTAR UNO O VARIOS ESTÁNDARES DE CONECTORES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA

### 8.1 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES ESTÁNDARES DE CONECTORES

Como se ha mencionado en el numeral 2.1.2.2, existen diferentes tipos de cargadores en el mundo y existen regiones donde ya se ha estandarizado algún tipo de conector con el fin de facilitar al usuario poder recargar su EV.

En Europa se estandarizó para la carga en AC el Mennekes o Type 2 y en DC se estandarizó el CCS Combo 2; en Estados Unidos la carga en AC se realiza principalmente con el SAE J1772 o Type 1 y para carga en DC se realiza principalmente con el CCS Combo 1; en Japón, la carga en AC se realiza con el SAE J1772 (Type 1) y la carga rápida en DC se realiza con el CHAdeMO; China tiene su estándar llamado GB/T que tiene su versión para carga en AC y su versión para carga en DC.

Sin embargo, a pesar de estandarizar cierto tipo de conector, no se excluye o prohíbe la instalación de otros tipos en varias regiones. Por ejemplo, CHAdeMO que es el estándar japonés de carga en DC, tiene más de 9,000 puntos de carga en Europa y más de 3,000 en Estados Unidos.

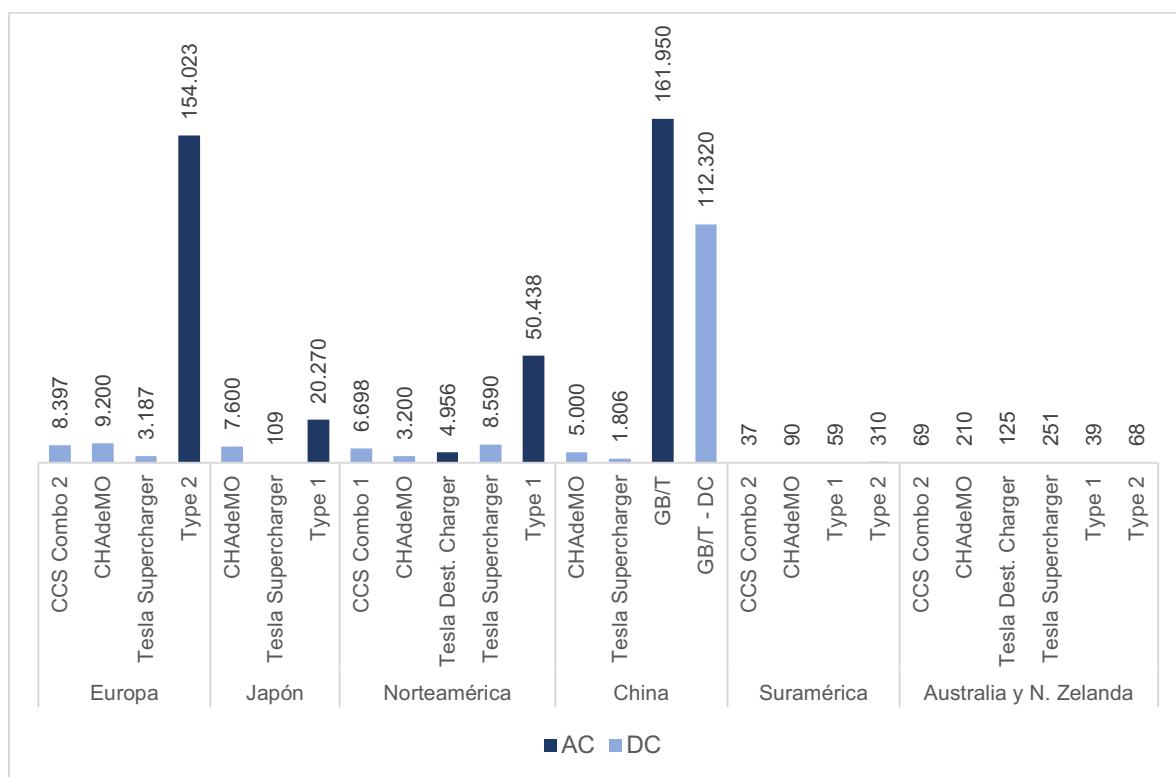


Figura 8-1. Cantidad de puntos de carga por regiones y por tipo de conector.

De la Figura 8-1 se puede evidenciar que el conector GB/T – DC es el tipo de conector con mayor número de unidades en el mundo, sin embargo, se encuentra únicamente en China. El tipo de conector Mennekes o Type 2 que es el estándar europeo para la carga en AC, tiene 154,023 unidades sólo en Europa y en Suramérica tiene una diferencia respecto al Type 1 (Estándar Japonés y Americano para carga en AC) sin que sea representativa.

El conector CCS Combo 2 a pesar de ser el estándar europeo, aún no logra superar la cantidad de conectores CHAdeMO en esta región, que llegó primero con la llegada del Nissan Leaf en 2010.

Algo muy importante que se extrae de la anterior figura es que Suramérica se encuentra en una etapa muy temprana en cuanto a infraestructura de carga y adopción de vehículos eléctricos, por lo que se encuentra en una etapa donde aún no existe un tipo de conector dominante o no es una muestra representativa del mercado que puede llegar a existir. Por esto, es importante definir uno o más estándares en el país, que se encuentra aún en etapa temprana.

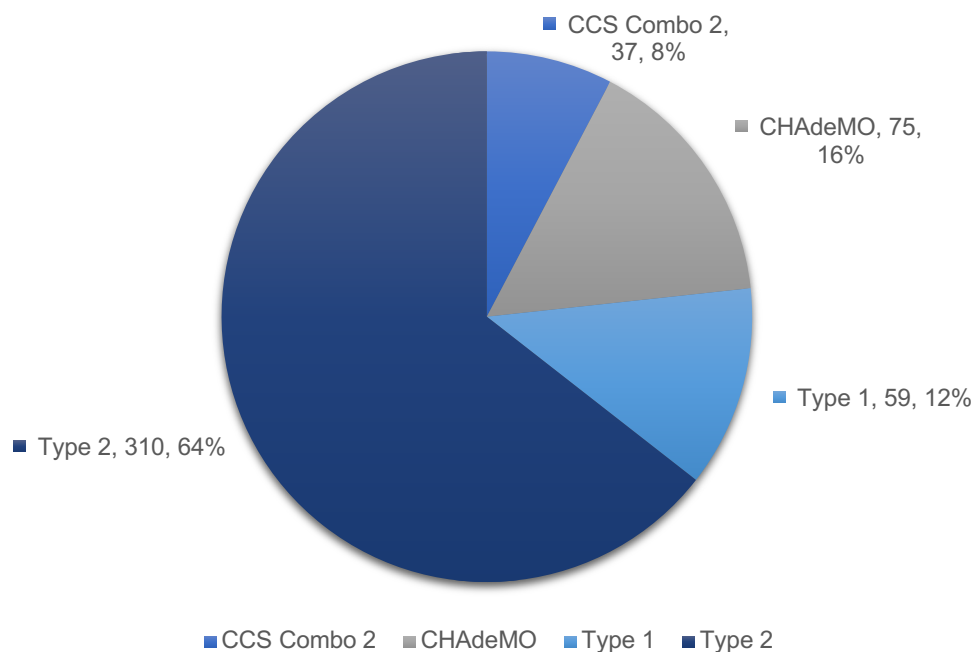


Figura 8-2. Cantidad y porcentaje de participación de los tipos de conectores en Colombia. (Electromaps, 2019c)

Viendo el caso específico de Colombia, de acuerdo con Electromaps (2019), el conector Type 1 y Type 2 son muy similares en cantidades, sin embargo, no son cifras significativas que puedan dictar una tendencia del mercado hacia cierto tipo de conector. Ahora, en carga rápida DC, se encuentran dos tecnologías, CHAdeMO

y CCS Combo 2, que al igual que es la carga en AC, no cuenta con una cifra significativa para poder ver hacia donde está yendo el mercado, por lo que se encuentra en una etapa muy temprana y es el momento de definir un estándar o más para la carga en AC y DC de manera que se homogenice el tipo de cargador en el país para que exista confianza por parte de los inversionistas y de los conductores al saber que podrán desplazarse por el país sin el problema de no encontrar el conector necesario para su vehículo.

Volviendo al panorama global, si se eliminan las regiones, en Figura 8-3 se evidencia que los cargadores dominantes en cuanto a unidades es el estándar chino GB/T tanto para carga en AC, como para carga en DC. Sin embargo, el conector Type 2 cuenta con una gran cantidad de unidades en el mundo, mayoritariamente Europa.

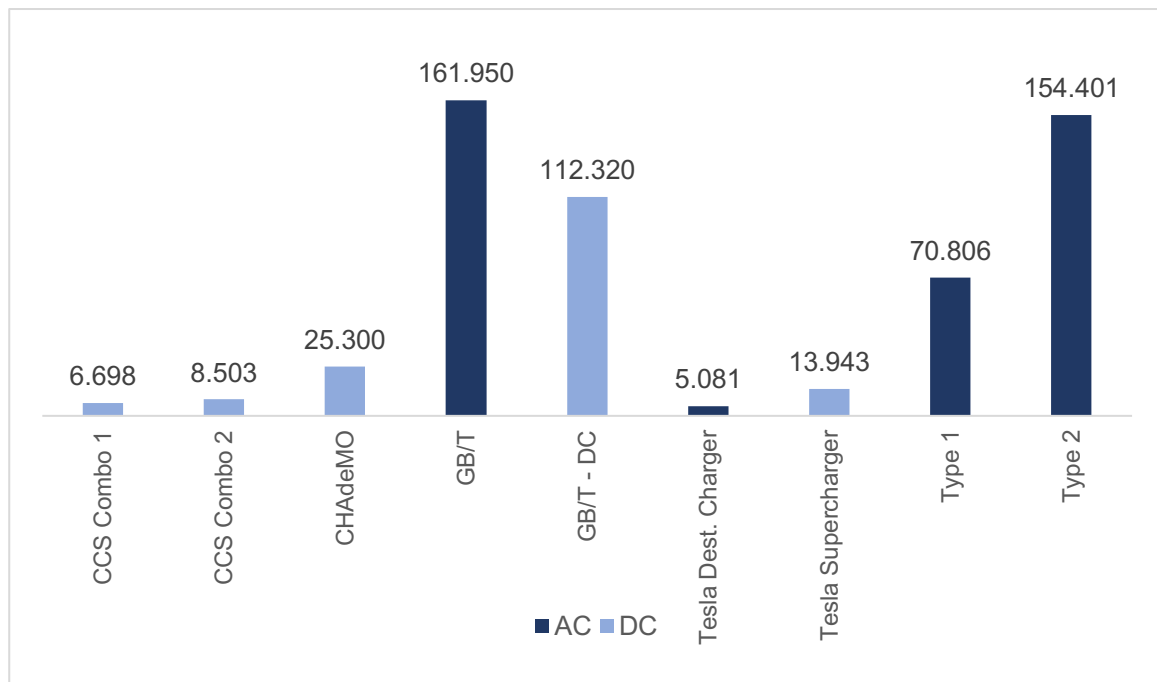


Figura 8-3. Cantidad de cargadores en el mundo por tipo de conector.

Fuente Análisis realizado con la consultoría

Ahora bien, existen ciertas ventajas y limitaciones para cada uno de los conectores, entre las que se pueden destacar se encuentran:

### 1. CCS Combo (1/2)

#### a. Ventajas:

- i. Carga rápida en DC de hasta 350 kW
- ii. El CCS Combo trae incorporado el conector para carga AC, por lo que sólo es necesario instalar un tipo de conector en el vehículo eléctrico.



- iii. Maneja el protocolo de comunicación OCPP, el cual permite a las estaciones de carga de vehículos eléctricos y los sistemas centrales de gestión de distintos fabricantes comunicar unos con otros.
  - iv. Apoyado por los fabricantes de autos americanos y europeos (BMW, Daimler, Volkswagen, Ford, GM, Renault, entre otros)
  - v. Acogido por diferentes países de la Unión Europea, además de Corea del Sur, Argentina, Chile, Brasil, Australia, India, Arabia Saudita, entre otros.
- b. Desventajas:
- i. Existen dos tipos de conectores, el CCS Combo 1 y CCS Combo 2, que tienen diferentes tipos de conexiones, lo que los hace incompatibles.
  - ii. No existen EVs actualmente que soporten las altas potencias de carga (350 kW), se están desarrollando vehículos que pueden cargar hasta 150 kW.

## 2. CHAdeMO

- a. Ventajas:
- i. Carga rápida en DC de hasta 400 kW.
  - ii. El conector CHAdeMO es idéntico en todo el mundo y es un enchufe independiente que puede estar con o sin un conector de AC. Lo que permite viajes en EV intercontinentales.
  - iii. CHAdeMO está listo para Smart Grid a través de su capacidad de carga bidireccional. También es compatible con cualquier función local u opcional más allá de la carga.
- b. Desventajas:
- i. No permite la carga en AC, por lo que se requiere un conector adicional, ya sea el Type 1 o Type 2.
  - ii. No existen muchos fabricantes de vehículos eléctricos que usen el conector CHAdeMO, actualmente lo usa Nissan, Mitsubishi, Toyota y Peugeot.
  - iii. No existen EVs actualmente que soporten las altas potencias de carga (400 kW), se están desarrollando vehículos que pueden cargar hasta 150 kW.

## 3. GB/T

- a. Ventajas:
- i. Es el cargador con mayor cantidad de unidades en el mundo.
- b. Desventajas:
- i. Su uso se limita a China.
  - ii. El idioma de su protocolo de comunicación es en mandarín.

## 4. Tesla Supercharger

- a. Ventajas:
- i. Cuenta con carga muy rápida en DC (200 kW) y los vehículos lo soportan.
- b. Desventajas:

- i. El conector es exclusivo para vehículos de la marca Tesla.



Figura 8-4. Países con diferentes estándares de conectores para carga de EVs. (Hurt, 2018)

Teniendo en cuenta que estandarizar el tipo de conector para uso público facilita a los usuarios encontrar puntos de carga y así crear un ambiente propicio para el mercado en infraestructura de carga se recomienda en Colombia iniciar un estudio de comparación de los tipos de cargadores existentes en el mercado con los mejores desempeños a fin de definir un estándar o dos, de tal forma que se avance en el desarrollo de la infraestructura de carga pública.

Sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda dejar abierto a otro tipo de estándares dependiendo del mercado de vehículos eléctricos y más si estos son flotas de vehículos que tendrían su propia infraestructura de carga privada como lo tendría Transmilenio, SITP o flotas de vehículos de carga privada (DHL, Bavaria, Postobón, etc.)

## 8.2 RECOMENDACIONES DE LAS ACCIONES REQUERIDAS PARA ADOPTAR UNO O MÁS ESTÁNDARES EN COLOMBIA

Adoptar un estándar o más de tipo de conector es importante para el país, de manera que haya más confianza para la empresa privada a la hora de realizar inversiones en infraestructura de carga.

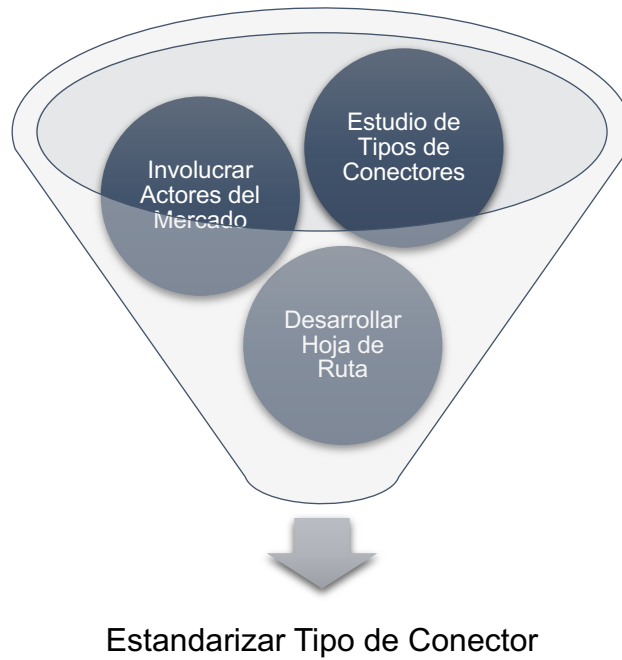
Por este motivo, se quieren establecer ciertas recomendaciones para las acciones requeridas con el fin de adoptar uno o más estándares de conectores. Para poder establecer un estándar es necesario realizar un estudio a fondo donde se analicen los siguientes puntos:

- Ventajas y desventajas que tiene cada uno de estos tipos de conectores, siendo aterrizados al contexto colombiano.
- Impacto de los costos de tener uno o más estándares al momento de realizar inversiones en infraestructura de carga.
- Impacto en los usuarios al tener uno o varios estándares de conectores.
- Mercado de vehículos eléctricos actuales en Colombia, verificando cuales son los vehículos de mayor demanda y que tipo de conector tiene.
- Mercado de cargadores de carga lenta, semirápida y rápida en Colombia, donde se analicen las opciones que ofrecen y la flexibilidad al momento de tener uno o varios estándares.

Durante el desarrollo del estudio, es importante involucrar a los principales actores del mercado, especialmente las marcas de vehículos eléctricos, quienes tendrían que acondicionarse en caso de que exista uno o varios estándares.

En este estudio, se pueden dar las recomendaciones del tipo de conector para carga en AC y DC de acuerdo con los análisis realizados.

Seguido al estudio, será necesario desarrollar una hoja de ruta para establecer el proceso de adaptación a uno o más estándares, donde se incluyan los pasos a dar una vez sea definido el estándar para Colombia, cómo debe hacerse la transición y como no afectar a quienes tienen un tipo de conector diferente al estandarizado.



*Figura 8-5. Recomendaciones de las acciones para estandarizar el tipo de conector.*

Finalmente, se debe estandarizar el tipo de conector para carga AC y DC como política nacional e implementar la hoja de ruta para el proceso de transición y adaptación de las partes involucradas.

## **9 ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS PARA POT, POLÍTICAS PÚBLICAS, COSTOS, BARRERAS, INCENTIVOS, REGLAMENTOS TÉCNICOS, POTENCIAL DE INNOVACIÓN, ACTORES DEL MERCADO, ESQUEMAS FINANCIEROS E INTEGRACIÓN CON MINISTERIOS**

### **9.1 LINEAMIENTOS PARA POTS Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE MUNICIPIOS, INCLUYENDO ASPECTOS COMO USO DE SUELO, USO PRIVADO, RECOMENDACIONES PARA CONDOMINIOS, ETC.**

#### **9.1.1 POT como política pro-movilidad eléctrica**

El Plan de Ordenamiento Territorial es un instrumento técnico y normativo enmarcado dentro de la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio y los usos del suelo. El POT tiene como objetivos garantizar la calidad de vida de los ciudadanos y la competitividad económica de una región mediante un desarrollo urbano integral, eficiente y sostenible. En este sentido, un POT debe contener políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones, normas, etapas y opciones de financiamiento que atiendan los objetivos propuestos.

En los nuevos POT para las ciudades colombianas se deben incluir aspectos como:

- Cambio Climático
- Sostenibilidad Ambiental
- Eficiencia energética
- Gobernabilidad
- Construcción sostenible
- Movilidad inteligente
- Preservación del patrimonio
- Infraestructura vial
- Accesibilidad
- Transporte sostenible
- Desarrollo urbano

Reconociendo las bondades de la movilidad eléctrica en contextos urbanos, los POT deben generar compromisos para la ciudad con el uso de nuevas tecnologías bajas y cero emisiones en el sector transporte urbano. Siendo el POT una hoja de ruta para las ciudades, es fundamental que sean explícitas las acciones específicas a corto, mediano y largo plazo en este componente. Se propone que sean incluidos temas como:

- Diseñar planes maestros de movilidad en los cuales se considere la eficiencia energética y reducción de emisiones como elementos claves en la definición de la política de movilidad urbana. En este sentido, es fundamental la organización del transporte público e implementación de sistemas de





transporte público integrado con el uso de vehículos con tecnologías bajas y cero emisiones (trenes, buses, bicis), desestimulando de manera progresiva el uso de combustibles fósiles. Esta medida se articula con la Ley 1964 de 2019 por la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia, específicamente incluir un 10% de los vehículos adquiridos con tecnologías eléctricas en el año 2025 hasta el 100% de los vehículos adquiridos con tecnologías eléctricas para el año 2035. Así mismo, el PROURE 2016 (Resolución 41286 de 2016) define al sector transporte como estratégico en los planes de eficiencia energética, especialmente al transporte público.

- Definición de zonas bajas en emisiones en zonas centro, sectores con altos niveles de contaminación y/o en zonas con alto valor patrimonial. Este tipo de medidas implementadas en ciudades como Londres y Berlín buscan reducir las emisiones en zonas con alta concentración de peatones, altas densidades peatonales, zonas patrimoniales y vialidades angostas congestionadas. Para estas medidas se definen etiquetas vehiculares según las emisiones del vehículo y se asigna restricción temporal o total a la circulación de los vehículos contaminantes en las zonas demarcadas por la medida.
- Aprobar recursos y/o aprobar el desarrollo de la infraestructura civil y eléctrica requerida para la implementación de equipos de recarga rápida para sistemas de transporte público o vehículos particulares en espacios públicos. La implementación de vehículos eléctricos requiere, además de buenas intenciones, de espacios para el desarrollo de la infraestructura requerida para la alimentación de energía eléctrica a baterías, acumuladores y motores eléctricos.
- Considerar planes de corredores/zonas verdes en los cuales se proyecte operación de transporte público, particular y carga con tecnologías bajas y/o cero emisiones. Bajo esta medida se prohíbe la circulación de vehículos con tecnologías tradicionales y/o se genera un cobro por cada ingreso de cada vehículo que no cumpla con los estándares definidos en la zona. Este tipo de estrategias han sido implementadas por ciudades como Sao Paulo, Estrasburgo, Paris y México DF.
- Definir como tema estratégico el mejoramiento de las condiciones ambientales urbanas, específicamente relacionado con la calidad del aire. Bajo este planteamiento se definen acciones que fortalecen la necesidad de implementar transporte bajo y cero emisiones en las zonas urbanas reconociendo que el sector transporte urbano es un actor emisor de gases contaminantes que afectan la calidad del aire y la salud pública.
- Implementación de esquemas de bicicletas públicas eléctricas asistidas como una opción de transporte complementario en las ciudades. Esta medida busca que ciudades sin sistemas de bicis públicas desarrollen esquemas soportados con este tipo de vehículos y las ciudades que ya poseen este sistema, migre a este tipo de bicicletas. En ciudades europeas

es visible el uso de este tipo de vehículos en sus modernos esquemas de bicicletas de alquiler.

### 9.1.2 Para estaciones de recarga rápida

Tal como fue indicado en el primer informe de esta consultoría, el principal mecanismo que hace escalable y masiva la implementación de sistemas de recarga en el país consiste en que las actuales estaciones de servicio de combustibles líquidos y gaseosos puedan (y deseen), incluir puntos de carga rápida para vehículos eléctricos. Esto, ya que, aunque de Perogrullo, no sobra resaltar que, en la actualidad, los vehículos de combustibles líquidos y gaseosos no recurren a la instalación de sistemas de combustible en sus hogares, sino que, por el contrario, se abastecen en este tipo de estaciones. En otras palabras, si las empresas de estaciones de servicio, ya con la disposición del suelo, ubicaciones permitidas por el POT y los corredores interurbanos e intermunicipales; empiezan a ofrecer el servicio de carga rápida, no se va a requerir de mayores ajustes (salvo el que se indica a continuación), para que pueda ser masivo el suministro de energía en todo el país.

Ahora bien, el cambio normativo que permitiría que las estaciones de servicio puedan suministrar carga rápida a vehículos eléctricos viene en camino y tiene como fuente lo dispuesto en el Parágrafo 5 del artículo 9 de la Ley 1964 de 2019. Dicho parágrafo le ordenó al Gobierno nacional lo siguiente:

*El Gobierno nacional en cabeza del Ministerio de Minas y Energía, reglamentará las condiciones necesarias para que en las estaciones de recarga de combustible fósil se pueda ampliar la oferta de servicios al incluir puntos de recarga para vehículos eléctricos.*

Dando cumplimiento a ese mandato legal, el Ministerio de Minas y Energía decidió modificar la definición de “Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos)” prevista en el artículo 2.2.2.6.1.1.1.3 Decreto 1073 de 2015, permitiendo la energía eléctrica como un producto a ser suministrado. Veamos:

*Establecimiento que dispone de instalaciones y equipos para el almacenamiento y distribución de combustibles gaseosos, combustibles líquidos **y de energía eléctrica, para vehículos**, a través de equipos fijos (surtidores) que llenan directamente los tanques de combustible.*

*Además, puede incluir facilidades para prestar uno o varios de los siguientes servicios: lubricación, lavado general o de motor, cambio o reparación de llantas, alineación y balanceo, servicio de diagnosticentro, trabajos menores de mantenimiento de motor, venta de llantas, neumáticos, lubricantes, baterías, accesorios y demás servicios afines. (Negritas y subrayas por fuera del original).*

En el marco de lo previsto en el numeral 8 del artículo 8 de la Ley 1437 de 2011, en concordancia con lo previsto en el inciso 2 del artículo 2.1.2.1.14 del Decreto 1081 de 2015, sustituido por el artículo 1 del Decreto 270 de 2017 y las resoluciones 4 0310 y 4 1304 de 2017, este decreto ya culminó el proceso público para participación. Por lo anterior, se espera que tenga aprobación del Gobierno nacional en los próximos meses.

Ahora, una vez quede ajustado este asunto y en firme, al menos desde el punto de vista regulatorio, quedaría claro que es posible instalar puntos de recarga para vehículos eléctricos en la amplia infraestructura de las estaciones de servicio y, con ello, se lograría el cumplimiento de uno de los objetivos de la antes citada Ley 1964 de 2019 para la masificación de la disposición de puntos de recarga para vehículos eléctricos sin la necesidad de hacer ajustes al POT.

No obstante, persiste la discusión sobre la naturaleza de las estaciones de servicio (si son o no consideradas establecimientos públicos y comerciales). Si el Ministerio de Minas y Energía confirmara este entendimiento, se podría facilitar la instalación de puntos de carga rápida. Aunque de la lectura de la citada nueva definición pareciera ser el espíritu (pues, de lo contrario, no haría sentido poner puntos de carga lenta y semirápida en estaciones de servicio por el tiempo que tomaría suministrar el servicio), lo cierto es que, habida cuenta el costo de instalar esta infraestructura, se hace necesario que se dote de la mayor seguridad jurídica posible este asunto.

Por lo anterior, desde el punto de vista regulatorio, se recomienda que, vía resolución o circular (cualquiera de estos mecanismos logra el objetivo), el Ministerio de Minas y Energía indique, con toda claridad, que las estaciones de servicio son establecimientos públicos y comerciales (al menos para los propósitos de la Ley 1964 de 2019), y, con ello, pueden instalar mecanismos de carga rápida para vehículos eléctricos.

Todo lo antes expuesto hace sentido, si primero se otorgan los incentivos que más adelante se indican, relativos a aminorar el CAPEX de los sistemas de recarga rápida. De lo contrario, sólo hasta cuando esta tecnología disruptiva alcance niveles aceptables del costo de CAPEX, tendremos una regulación que permite (desde el punto de vista legal), la implementación masiva de estos sistemas, pero, económicamente, no será viable ejecutarla.

### **9.1.3 Para el uso de suelo**

Con respecto al uso de suelo, se hace referencia al espacio entendido como público. Una de las principales barreras que los agentes interesados en suministrar el servicio de recarga de vehículos eléctricos manifestaron en las consultas y eventos ejecutados en el marco de la consultoría, es que los municipios no han dispuesto de espacios de este tipo para la instalación de recargas en vías y espacios públicos.

La principal recomendación es que los municipios estructuren (tal como lo pretendió Pereira en el documento anexo a este producto), e implementen una completa política pública de movilidad sostenible que esté acompañada de una concesión de espacio público para la instalación gradual de puntos de recarga. Para estos efectos, es de la esencia que los municipios contrates la estructuración técnica, legal y financiera de una concesión para el diseño, construcción, dotación, suministro y mantenimiento de puntos de recarga de vehículos eléctricos en espacio público. Esta estructuración deberá establecer, entre otros, el modelo de negocio, el esquema de contratación aplicable, las autorizaciones y licencias requeridas, las fuentes de financiación, el costo del CAPEX y OPEX del proyecto y los riesgos asociados al proyecto; con el fin de sacar a licitación pública dicha concesión.

De esta manera, los municipios lograrían la implementación de estas tecnologías en el espacio público, partiendo de una estructuración que deberá tener en cuenta los riesgos que los agentes del mercado interesados en estos proyectos están dispuestos a asumir.

Otras consideraciones relacionadas con el espacio público a ser incluidas en los POT para la masificación de la movilidad eléctrica son:

- Autorizar la explotación del espacio público urbano para la instalación de estaciones para la recarga de vehículos eléctricos. Se faculta a la ciudad para permitir, de manera temporal, con cobro preferencial o incluso sin retribución económica la explotación del espacio público (bahías de estacionamiento, estacionamiento en carriles junto a los andenes, parqueaderos en parques u otras zonas públicas).
- Autorización de la explotación del espacio público en andenes y parques relacionado con servicios relacionados a la recarga y estacionamiento de vehículos eléctricos livianos como bicicletas, motocicletas, scooters y patinetas eléctricas. Esto incluye estaciones de recarga eléctrica de dichos vehículos. Las opciones de transporte individual con vehículos eléctricos livianos es una tendencia en las ciudades, hecho por el cual se debe generar la regulación y las condiciones para favorecer su uso reconociendo que son alternativas de bajo impacto en el tráfico y el ambiente.
- Autorizar el uso del espacio público para esquemas de alquiler de vehículos exclusivamente eléctricos “car-sharing”. Sistemas como “Autolib” en París son una referencia para considerar en la planeación de la movilidad y el espacio urbano. En el mundo existen diferentes esquemas de “sharing” de vehículos eléctricos como “Blue”, “CartoGo”, “ZipCar”, los cuales necesitan apoyo gubernamental para su visibilidad en vía y su sostenibilidad financiera.
- Aprovechamiento del espacio público urbano para la implementación de subestaciones eléctricas y otra infraestructura requerida para la recarga de vehículos eléctricos en vías públicas. Esta medida facultaría a las empresas de energía y/o empresas dedicadas a la instalación de electrolineras a realizar un aprovechamiento del espacio público a superficie o subterráneo



para la instalación de equipos, subestaciones o demás elementos requeridos para la recarga de vehículos eléctricos de servicio público y/o particular. Las ciudades deberán tomar las medidas necesarias para facilitar la implementación de dicha infraestructura eléctrica en la ciudad, sin perjuicio de temas ambientales, paisajísticos o sociales.

#### **9.1.4 Para uso privado: comercial y copropiedad**

Desde el punto de vista netamente legal, la Ley 1964 de 2019 marcó un hito relacionado con el futuro de la instalación de puntos de recarga en edificios de uso residencial y comercial. Naturalmente, la ley, por definición, no es retroactiva, pero lo cierto es que, en virtud del artículo 10 de la aludida norma la ley ahora exige lo siguiente:

*Artículo 10. Disposiciones urbanísticas. Las autoridades de planeación de los distritos y municipios de categoría especial, 0, 1, 2 y 3 junto con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamentarán los lineamientos técnicos necesarios para garantizar que los edificios de uso residencial y comercial, cuya licencia de construcción se radique en legal y debida forma, a partir de la entrada en vigencia de la presente Ley, cuenten con una acometida de electricidad para carga o el repostaje de vehículos eléctricos. Los accesos a la carga deberán contar con las medidas de seguridad necesarias orientadas a que sea el respectivo propietario quien acceda para efectos de asumir el costo del consumo.*

*Parágrafo 1°. Para efectos del cumplimiento de la obligación establecida en el presente artículo, el constructor deberá dejar la infraestructura de soporte cercana al lugar de parqueo, sin incluir cableado, equipos de conexión para la recarga o repostaje correspondiente. Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía establecerá las obligaciones y responsabilidades de las empresas prestadoras del servicio público de energía y del propietario del inmueble con respecto a la presente obligación.*

*Parágrafo 2°. Los proyectos de Vivienda de Interés Social y de Interés Prioritario estarán exceptuados del cumplimiento de la obligación contemplada en el presente artículo.*

En ese orden de ideas, fluye el hecho de que el mencionado Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio deberá reglamentar los lineamientos técnicos requeridos para que, en adelante, todos los proyectos de construcción residencial y comercial (salvo las VIS y VIP), deban incluir una acometida para recarga de vehículos eléctricos. A la fecha, aún no se ha publicado este asunto, pero, una vez se publique este decreto, de acuerdo con el taller que el Consultor llevó a cabo con el apoyo y auspicio de la UPME, es de vital importancia que si hay disposiciones relacionadas con el cumplimiento del RETIE y la NTC 2050, se haga lo siguiente: i) aclarar en el RETIE que cuando el equipo de carga incluya el interruptor diferencial, no se

requiere de nuevo instalar otra protección diferencial para el circuito ramal; ii) limitar el uso de cargadores portátiles a la carga lenta y que se incluya en ellas la protección diferencial; iii) que la protección diferencial interrumpiendo los conductores neutro no sea exigida. De esta manera, desde el punto de vista técnico, se puede garantizar el cumplimiento de requisitos de seguridad adecuados, pero sin restringir, innecesariamente, la adopción de estos sistemas de recarga.

El mayor desafío corre por cuenta de los edificios residenciales (copropiedad) y comerciales ya construidos o con licencia aprobada. De acuerdo con las proyecciones que más adelante se indicaron en el primer informe de la consultoría, el número de vehículos particulares que se implementará en Colombia en los próximos 10 años asciende a 680.000. Aunque el suministro de energía en estaciones de servicio puede cumplir un rol esencial en la demanda para la carga de estos vehículos, lo cierto es que el modelo de negocio que se ha implementado a la fecha involucra los sistemas de recarga en casa (carga lenta y semirápida).

Para ello, la recomendación consiste en dar cumplimiento del artículo 10 de la Ley 1964 de 2019, en el menor tiempo posible, y, con ello, que la reglamentación por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (vía decreto), tenga en cuenta los siguientes aspectos técnicos del RETIE y la NTC 2050: i) aclarar en el RETIE que cuando el equipo de carga incluya el interruptor diferencial, no se requiere de nuevo instalar otra protección diferencial para el circuito ramal; ii) limitar el uso de cargadores portátiles a la carga lenta y que se incluya en ellas la protección diferencial; iii) que la protección diferencial interrumpiendo los conductores neutro no sea exigida. De esta manera, desde el punto de vista técnico, se puede garantizar el cumplimiento de requisitos de seguridad adecuados, pero sin restringir, innecesariamente, la adopción de estos sistemas de recarga

Tras revisar la normatividad relacionada con el régimen de propiedad horizontal que rige en Colombia (Ley 675 de 2001), se puede advertir que la instalación de estos equipos tiene dos posibilidades: i) el modelo actual mediante el cual un propietario o residente, respetando el reglamento de copropiedad, decide instalar equipos de recarga para su vehículo eléctrico o, ii) la decisión de la copropiedad de generar un expensa común e instalar estos equipos para el uso de los copropietarios y/o residentes.

Para el primer caso, el principal desafío consiste en que el reglamento de copropiedad permita hacer la instalación. Lo cierto es que es poco probable que los reglamentos no permitan hacer este tipo de instalaciones dado que uno de los principios orientadores de esta ley es justamente la “función social y ecológica de la propiedad”, lo cual, en virtud del artículo 2 implica que *“Los reglamentos de propiedad horizontal deberán respetar la función social y ecológica de la propiedad, y, por ende, deberán ajustarse a lo dispuesto en la normatividad urbanística vigente”*. Teniendo presente el sentido ecológico de incentivar el uso de vehículos eléctricos en Colombia, los copropietarios tendrían una herramienta legal para

superar restricciones de reglamentos de copropiedad que proscriban la posibilidad de instalar este tipo de equipos.

Para ello, la recomendación radica en que en el mencionado decreto que reglamente el artículo 10 de la Ley 1964 de 2019 quede claro que los sistemas de recarga son entendidos, desde el punto de vista legal, como una “expensa común necesaria” y, por ende, que basta con que un solo propietario lo solicite para que sea obligatoria su instalación en un área común de la copropiedad (sin necesidad de llevar la decisión a la asamblea de copropietarios). Siempre y cuando, el cargador cumpla con todos los requisitos y normas técnicas establecidas en Colombia.

Frente al segundo asunto, el desafío subyace en que los mecanismos de recarga sean entendidos como “expensas comunes necesarias” (el artículo 3 las define como *“Erogaciones necesarias causadas por la administración y la prestación de los servicios comunes esenciales requeridos para la existencia, seguridad y conservación de los bienes comunes del edificio o conjunto. Para estos efectos se entenderán esenciales los servicios necesarios, para el mantenimiento, reparación, reposición, reconstrucción y vigilancia de los bienes comunes, así como los servicios públicos esenciales relacionados con estos”*). Si este fuera el caso, se facilitaría la implementación de estos espacios en la medida de que, tal como lo establece el artículo 29 de la prenombrada ley, *“Los propietarios de los bienes privados de un edificio o conjunto estarán obligados a contribuir al pago de las expensas necesarias causadas por la administración y la prestación de servicios comunes esenciales para la existencia, seguridad y conservación de los bienes comunes, de acuerdo con el reglamento de propiedad horizontal”*. Así las cosas, a diferencia de las expensas comunes no necesarias, estas no tendrían que ser aprobadas por una mayoría calificada de la asamblea de copropietarios.

Por último, desde el Gobierno Nacional se hace necesario articular políticas como la Ley 1964 de 2019 con otras relacionadas con la propiedad privada y la construcción en el país como el Decreto 1077 de 2015 expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Norma que incorpora las modificaciones introducidas al decreto único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio a partir de la fecha de su expedición. Última fecha de actualización: 26 de agosto de 2019 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”.

Así mismo, cada ciudad expide normas urbanísticas que deben ser consideradas bajo temas como estacionamientos, sótanos, zonas de aislamiento y equipamiento comunal privado, las cuales deben estar articuladas con las directrices anteriormente relacionadas.

## 9.2 BARRERAS E INCENTIVOS

### 9.2.1 Barreras internacionales

#### 9.2.1.1 Costo de los vehículos eléctricos

##### 9.2.1.1.1 Desafío

Actualmente, los EVs tienen un mayor costo de inversión comparado con el de vehículos de combustión interna para vehículos con características similares. Mayor costo que se ocasiona principalmente por las baterías

Por ejemplo, en Canadá, un Kia Soul 2018 en su versión de motor de combustión interna, cuesta CAD \$24,930, mientras que su contrapartida eléctrica cuesta alrededor de CAD \$37,780, esto es una diferencia del 51% (CAD \$12,850). Otro ejemplo es el VW Golf 2018, que cuesta CAD \$28,495 en su versión ICE y CAD \$36,355 en su versión eléctrica (un 27% superior).

En Estados Unidos, el ICCT realizó un estudio de los costos asociados a los vehículos eléctricos y se determinó que el aumento del costo es debido al elevado costo de la batería. (Nicholas, EV Charging Cost in US, 2019)

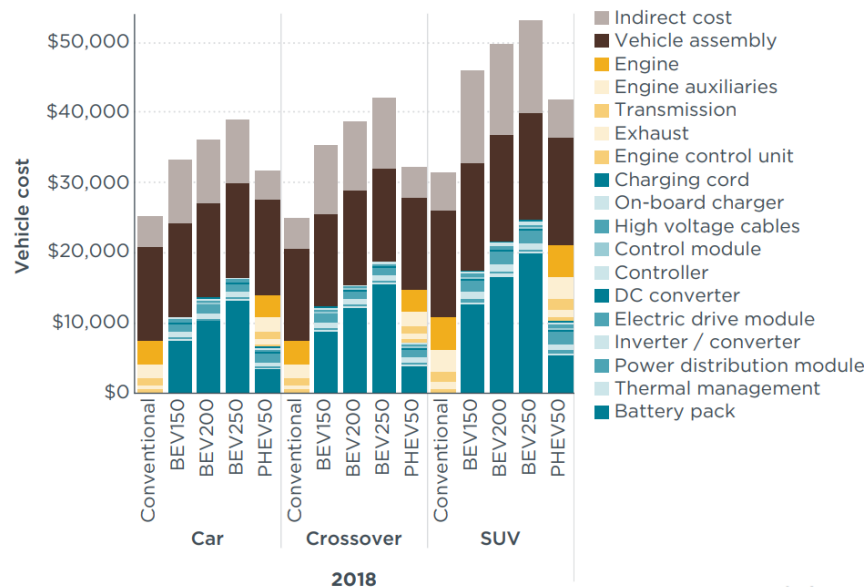


Figura 9-1. Costos de tecnología de vehículos para vehículos convencionales y eléctricos en 2018 para automóviles, crossovers y SUV. (Lutsey & Nicholas, 2019)

Esta se considera como la principal barrera para que los usuarios realicen la transición a EVs.

No obstante lo anterior, el costo inicial del vehículo es solo una parte del costo total de la propiedad del vehículo (TCO) para el consumidor. Es importante analizar el TCO, porque compara el costo total (inversión y operación) de un vehículo con



diferentes características tomando en cuenta el costo de adquisición y los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del mismo.

En el estudio realizado por la IEA (IEA, 2018a) en 2018, al comparar el TCO de un BEV contra un vehículo de combustión interna, se tienen las siguientes conclusiones:

- El TCO de un BEV es mayor que el de un vehículo ICE, suponiendo que lo tiene durante 3.5 años y los precios del combustible son mayores a los precios de la electricidad.
- Con precios de baterías para los fabricantes de automóviles de 260 USD/kWh, escalar la adopción de BEVs requieren de políticas que lo soporten.
- Los buses eléctricos que viajen entre 40,000 y 50,000 km/año son competitivos en regiones donde el costo del diésel es muy alto y las baterías tienen un costo menor a 260 USD/kWh.

En resumen, el alto costo de las baterías no permite que sean competitivos contra los vehículos de combustión interna.

### 9.2.1.1.2 Solución

A medida que avanza la presente investigación en este tema, los precios de las baterías continúan disminuyendo, tal como lo muestra la figura (Lutsey & Nicholas, 2019). Como se ha mostrado, algunos países como Estados Unidos y Canadá están creando subsidios para la compra de EVs. En la provincia de Columbia Británica dan un subsidio de CAD \$6,000 por lo que el vehículo quedaría con un costo entre CAD \$32,780 y \$26,780, que es un valor más cercano a su versión a gasolina de CAD \$24,930.

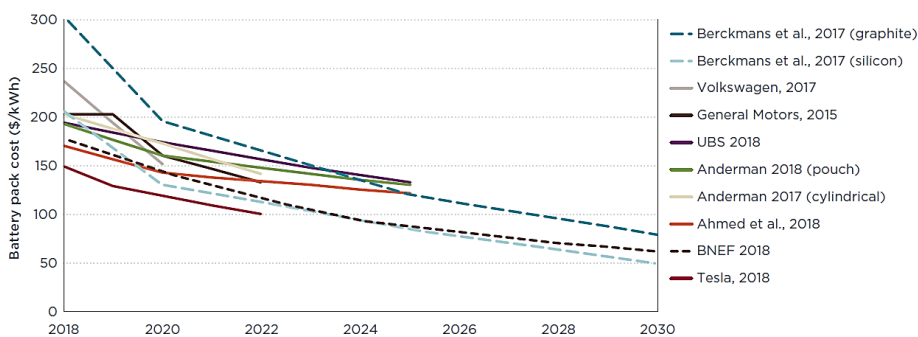


Figura 9-2. Costos de bancos de baterías para vehículos eléctricos de acuerdo con estudios y fabricantes. (Lutsey & Nicholas, 2019)

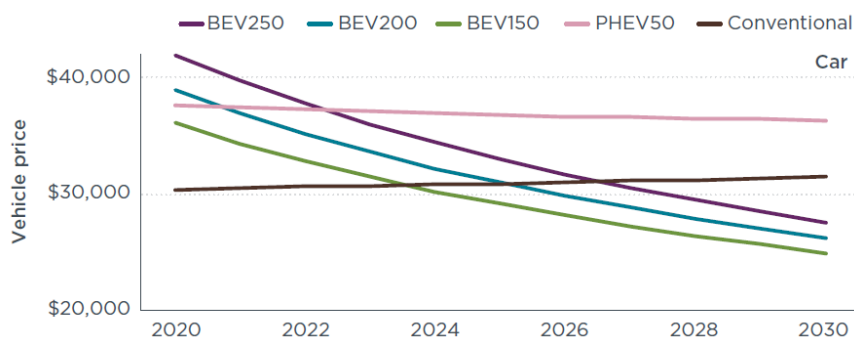


Figura 9-3. Costo Inicial de Adquisición de BEV con diferentes autonomías, Híbrido y Vehículo Convencional. (Lutsey & Nicholas, 2019)

También es de tener en cuenta, que los costos de mantenimiento son menores en los BEVs debido a que tienen menos piezas en movimiento (Lutsey & Nicholas, 2019).

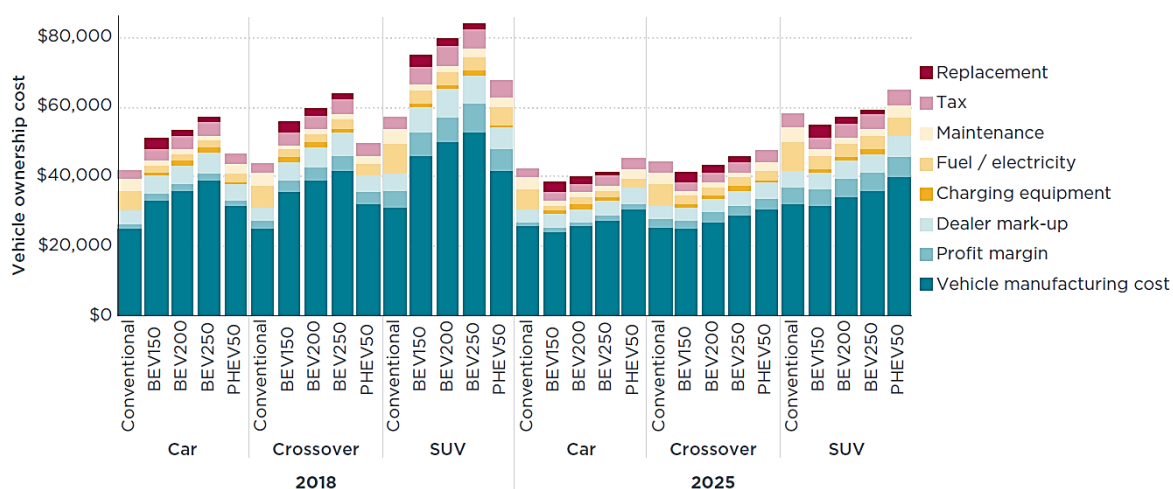


Figura 9-4. Comparación de costo total de adquisición de un vehículo para 2018 y 2025 (Lutsey & Nicholas, 2019).

En la Figura 9-4, la franja amarilla corresponde a mantenimiento, allí se puede evidenciar que estos costos son menores tanto para 2018 como el año 2025, sin embargo, para el año 2018, se tiene un mayor costo del vehículo, condición que se espera sea superada para el año 2025 en el caso de Estados Unidos.

Esta condición del mercado presenta dificultades de manejo desde las instancias políticas y comerciales locales. El precio en planta de producción del vehículo eléctrico seguirá siendo una de las barreras más importantes para su masificación. Sin embargo, algunas medidas pueden ser consideradas para mitigar esta condición son:



- Generar un incentivo a la producción nacional de vehículos eléctricos para la industria automotriz. Colombia cuenta con una capacidad de producción de camiones, buses, automóviles y motocicletas que puede ser potenciada para la producción de vehículos eléctricos. Actualmente, la creciente demanda de vehículos eléctricos nacional es cubierta por la industria internacional, hecho que genera costos adicionales al producto. Igualmente, este tipo de incentivo se podría trasladar a los fabricantes de equipos para la recarga de vehículos eléctricos.
- Capacitar a empresarios y personas naturales acerca de la adecuada selección del tipo de vehículo, infraestructura de recarga y especificaciones de las baterías. También se pueden adaptar las baterías a las necesidades del usuario, de esta manera se evita el sobredimensionamiento en las baterías.
- Ampliar los beneficios de la legislación relacionadas con la exclusión de IVA y arancel para componentes requeridos como piezas para ensamble o para reparación de vehículos eléctricos y/o cargadores para baterías.
- Las ciudades podrían implementar una cobertura de los diferenciales de precio entre un vehículo eléctrico y un vehículo equivalente de gasolina, parcial o totalmente, en el caso de transporte público. En el corto plazo, este tipo de medidas podría impulsar el uso de vehículos eléctricos en el sector y consecuentemente, el desarrollo de electrolineras.
- La existencia de incentivos tributarios locales para las empresas que operen flotas vehiculares eléctricas o desarrollen infraestructura eléctrica en la ciudad se convierte en un incentivo que puede reducir la presión del precio e impulsar el uso de la tecnología y desarrollo de electrolineras en vía pública.

## **9.2.1.2 Infraestructura de recarga**

### **9.2.1.2.1 Desafío**

No sólo el alto costo de los vehículos es una de las barreras que han tenido que sortear países que han implementado políticas de promoción de movilidad eléctrica. En la actualidad, el despliegue se puede ver disminuido debido a los altos costos en infraestructura. Para el caso de España, el costo de la inversión en infraestructura de recarga está entre los EUR\$1.250 y los EUR\$1.650 millones hasta 2030, es decir, EUR\$100 millones anuales aproximadamente. (Deloitte, 2019) Este elevado costo, dificulta que el negocio de la recarga de acceso público resulte rentable para las empresas privadas, por lo que afecta el despliegue en puntos de recarga de forma natural. En el contexto colombiano, el panorama no es diferente y en la actualidad el desarrollo de dicha infraestructura ha estado a cargo de empresas del sector eléctrico con presupuestos de capital de riesgo e innovación con mínima posibilidad de recuperación de la inversión.

### 9.2.1.2.2 Solución

Es necesaria la intervención por parte del Estado para incentivar el uso de vehículos eléctricos y a su vez incentivar la inversión por parte de actores privados con subsidios, programas de despliegue o políticas de inversión para la construcción de puntos de carga. Tampoco se descarta que sean las ciudades quienes inviertan total o parcialmente en la infraestructura eléctrica requerida, especialmente para transporte público. Hoy este componente se convierte en una barrera para operadores de transporte, distantes a este tipo de elementos. Se pueden tomar como referencia los incentivos en ciudades de China, Bogotá y Sao Paulo.

Con referencia, la Unión Europea ha regulado la creación de infraestructura de recarga en construcciones nuevas o renovadas no-residenciales, de manera que al menos una quinta parte de los parqueaderos sean equipados con la acometida necesaria para la instalación futura de equipos de recarga vehicular (IEA, 2019). Este tipo de medidas se podría considerar para edificaciones nuevas de estratos socioeconómicos 5 y 6 en las ciudades.

Por último, podría generarse una discusión para definir hasta dónde podría llegar el concepto de activo de uso y conexión. La posibilidad de incluir componentes de la infraestructura eléctrica del negocio de electrolinerías como activo de uso permitiría reducir los costos finales al usuario y diluir las inversiones en el desarrollo del sistema eléctrico nacional y local.

## 9.2.2 Barreras nacionales

### 9.2.2.1 Barreras regulatorias en las estaciones de servicio

#### 9.2.2.1.1 Desafío

Como se mencionó anteriormente, una de las principales barreras que se identificó dentro del análisis de “condiciones de integración de electrolinerías en estaciones de servicio de combustibles líquidos”, radica justamente en el vacío normativo que, a la fecha, existe frente a la definición de “Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos)” prevista en el Decreto 1073 de 2015. Esta definición deja por fuera la instalación de electrolinerías ya que sólo hace alusión a los servicios de distribución de combustibles gaseosos y combustibles líquidos, por lo cual no hay claridad si es posible instalar puntos de carga para vehículos eléctricos.

#### 9.2.2.1.2 Solución

El Ministerio de Minas y Energía está ad-ports de dar cumplimiento a lo previsto en el Parágrafo 5 del artículo 9 de la Ley 1964 de 2019, y es así como en el proyecto de modificación del aludido decreto, que se encuentra en su última etapa antes de ser promulgado, existe una nueva definición de Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos) que ya incluye energía eléctrica. La definición reza así:



*Establecimiento que dispone de instalaciones y equipos para el almacenamiento y distribución de combustibles gaseosos, combustibles líquidos **y de energía eléctrica**, para vehículos, a través de equipos fijos (surtidores) que llenan directamente los tanques de combustible.*

*Además, puede incluir facilidades para prestar uno o varios de los siguientes servicios: lubricación, lavado general o de motor, cambio o reparación de llantas, alineación y balanceo, servicio de diagnosticentro, trabajos menores de mantenimiento de motor, venta de llantas, neumáticos, lubricantes, baterías, accesorios y demás servicios afines. (Negritas y subrayas por fuera del original).*

Una vez quede ajustado este asunto, al menos desde el punto de vista regulatorio, se solucionaría el mencionado vacío que no permitía concluir con certeza la posibilidad de instalar puntos de recarga para vehículos eléctricos en la amplia infraestructura de las estaciones de servicio.

No obstante, persiste la discusión sobre la naturaleza de las estaciones de servicio (si son o no consideradas establecimientos públicos y comerciales). Si el Ministerio de Minas y Energía confirmara este entendimiento, se podría facilitar la instalación de puntos de carga rápida. Aunque de la lectura de la citada nueva definición pareciera ser el espíritu (pues, de lo contrario, no haría sentido poner puntos de carga lenta y semirápida en estaciones de servicio por el tiempo que tomaría suministrar el servicio), lo cierto es que, habida cuenta el costo de instalar esta infraestructura, se hace necesario que se dote de la mayor seguridad jurídica posible este asunto.

### **9.2.2.2 Restricciones asociadas a la instalación de puntos de recarga en copropiedad**

#### **9.2.2.2.1 Desafío**

Desde el punto de vista netamente legal, la Ley 1964 de 2019 marcó un hito relacionado con el futuro de la instalación de puntos de recarga en edificios de uso residencial y comercial. Naturalmente, la ley, por definición, no es retroactiva, pero lo cierto es que, en virtud del artículo 10 de la aludida norma la ley ahora exige lo siguiente:

*Artículo 10. Disposiciones urbanísticas. Las autoridades de planeación de los distritos y municipios de categoría especial, 0, 1, 2 y 3 junto con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamentarán los lineamientos técnicos necesarios para garantizar que los edificios de uso residencial y comercial, cuya licencia de construcción se radique en legal y debida forma, a partir de la entrada en vigencia de la presente Ley, cuenten con una acometida de electricidad para carga o el repostaje de vehículos eléctricos. Los accesos a la carga deberán contar con las medidas de seguridad necesarias orientadas*



*a que sea el respectivo propietario quien acceda para efectos de asumir el costo del consumo.*

*Parágrafo 1°. Para efectos del cumplimiento de la obligación establecida en el presente artículo, el constructor deberá dejar la infraestructura de soporte cercana al lugar de parqueo, sin incluir cableado, equipos de conexión para la recarga o repostaje correspondiente. Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía establecerá las obligaciones y responsabilidades de las empresas prestadoras del servicio público de energía y del propietario del inmueble con respecto a la presente obligación.*

*Parágrafo 2°. Los proyectos de Vivienda de Interés Social y de Interés Prioritario estarán exceptuados del cumplimiento de la obligación contemplada en el presente artículo.*

En ese orden de ideas, fluye con nitidez el hecho que el mencionado Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio deberá reglamentar los lineamientos técnicos requeridos para que, en adelante, todos los proyectos de construcción residencial y comercial (salvo las VIS y VIP), deban incluir una acometida para recarga de vehículos eléctricos. A la fecha, aún no se ha publicado este asunto, pero, una vez se publique este decreto, de acuerdo con el taller que el Consultor llevó a cabo con el apoyo y auspicio de la UPME, es de vital importancia que si hay disposiciones relacionadas con el cumplimiento del RETIE y la NTC 2050, se haga lo siguiente: i) aclarar en el RETIE que cuando el equipo de carga incluya el interruptor diferencial, no se requiere de nuevo instalar otra protección diferencial para el circuito ramal; ii) limitar el uso de cargadores portátiles a la carga lenta y que se incluya en ellas la protección diferencial; iii) que la protección diferencial interrumpiendo los conductores neutro no sea exigida. De esta manera, desde el punto de vista técnico, se puede garantizar el cumplimiento de requisitos de seguridad adecuados, pero sin restringir, innecesariamente, la adopción de estos sistemas de recarga.

Sin embargo, el mayor desafío corre por cuenta de los edificios residenciales (copropiedad) y comerciales ya construidos o con licencia aprobada. De acuerdo con las proyecciones que se indican en el presente informe, el número de vehículos particulares que se implementará en Colombia en los próximos 10 años asciende a 705.000. Aunque el suministro de energía en estaciones de servicio puede cumplir un rol esencial en la demanda para la carga de estos vehículos, lo cierto es que el modelo de negocio que se ha implementado a la fecha involucra los sistemas de recarga en casa (carga lenta y semirápida).

Tras revisar la normatividad relacionada con el régimen de propiedad horizontal que rige en Colombia (Ley 675 de 2001), se puede advertir que la instalación de estos equipos tiene dos posibilidades: i) el modelo actual mediante el cual un propietario o residente, respetando el reglamento de copropiedad, decide instalar equipos de recarga para su vehículo eléctrico o, ii) la decisión de la copropiedad de generar un

expensa común e instalar estos equipos para el uso de los copropietarios y/o residentes.

Para el primer caso, el principal desafío consiste en que el reglamento de copropiedad permita hacer la instalación. Lo cierto es que es poco probable que los reglamentos no permitan hacer este tipo de instalaciones dado que uno de los principios orientadores de esta ley es justamente la “función social y ecológica de la propiedad”, lo cual, en virtud del artículo 2 implica que *“Los reglamentos de propiedad horizontal deberán respetar la función social y ecológica de la propiedad, y por ende, deberán ajustarse a lo dispuesto en la normatividad urbanística vigente”*. Teniendo presente el sentido ecológico de incentivar el uso de vehículos eléctricos en Colombia, los copropietarios tendrían una herramienta legal para superar restricciones de reglamentos de copropiedad que proscriban la posibilidad de instalar este tipo de equipos.

Frente al segundo asunto, el desafío subyace en que los mecanismos de recarga sean entendidos como “expensas comunes necesarias” (el artículo 3 las define como *“Erogaciones necesarias causadas por la administración y la prestación de los servicios comunes esenciales requeridos para la existencia, seguridad y conservación de los bienes comunes del edificio o conjunto. Para estos efectos se entenderán esenciales los servicios necesarios, para el mantenimiento, reparación, reposición, reconstrucción y vigilancia de los bienes comunes, así como los servicios públicos esenciales relacionados con estos”*). Si este fuera el caso, se facilitaría la implementación de estos espacios en la medida de que, tal como lo establece el artículo 29 de la prenombrada ley, *“Los propietarios de los bienes privados de un edificio o conjunto estarán obligados a contribuir al pago de las expensas necesarias causadas por la administración y la prestación de servicios comunes esenciales para la existencia, seguridad y conservación de los bienes comunes, de acuerdo con el reglamento de propiedad horizontal”*. Así las cosas, a diferencia de las expensas comunes no necesarias, estas no tendrían que ser aprobadas por una mayoría calificada de la asamblea de copropietarios.

#### **9.2.2.2.2 Solución**

Respecto del cumplimiento del artículo 10 de la Ley 1964 de 2019 que exista, en el menor tiempo posible, la reglamentación por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y, que esta reglamentación (vía decreto), se tengan en cuenta los siguientes aspectos técnicos del RETIE y la NTC 2050: i) aclarar en el RETIE que cuando el equipo de carga incluya el interruptor diferencial, no se requiere de nuevo instalar otra protección diferencial para el circuito ramal; ii) limitar el uso de cargadores portátiles a la carga lenta y que se incluya en ellas la protección diferencial; iii) que la protección diferencial interrumpiendo los conductores neutro no sea exigida. De esta manera, desde el punto de vista técnico, se puede garantizar el cumplimiento de requisitos de seguridad adecuados, pero sin restringir, innecesariamente, la adopción de estos sistemas de recarga.

Con relación a la implementación en copropiedades de sistemas de carga para vehículos eléctricos, la principal solución radica en que, el artículo 10 de la Ley 1964 de 2019 deje claro que los sistemas de recarga son entendidos, desde el punto de vista legal, como una “expensa común necesaria” y, por ende, que basta con que un solo propietario lo solicite para que sea obligatoria su instalación en un área común de la copropiedad (sin necesidad de llevar la decisión a la asamblea de copropietarios).

Es fundamental la articulación de normas urbanísticas, técnicas y privadas de carácter nacional y local con relación a la instalación de puntos de carga en propiedades privadas. Esta articulación no es clara para su implementación desde lo consagrado en la Ley 1964 de 2019.

### **9.2.2.3 Restricciones respecto de regulación tarifaria horaria**

#### **9.2.2.3.1 Desafío**

La falta de una tarifa horaria y específica para un sector como el transporte, hoy inexistente en la regulación, dificulta la gestión eficiente de la infraestructura. Este hecho no permite aprovechar mejores precios de compra de energía en horas valle y requiere de ampliaciones de infraestructura de redes por concentración de uso de sistemas de carga en hora de punta o alta demanda eléctrica.

#### **9.2.2.3.2 Solución**

Se requiere ajustes regulatorios para definir un modelo tarifario horario, el cual está previsto para ser implementado desde la expedición de la ley 1715 de 2014. Esta tarifa debe garantizar la competitividad del KWh frente a combustibles sustitutos como el GNV.

### **9.2.2.4 Restricciones tratamiento de usuario del servicio de energía eléctrica**

#### **9.2.2.4.1 Desafío**

El marco regulatorio del servicio de energía eléctrica clasifica a los usuarios en regulados y no regulados, para los primeros les permite negociar directamente los precios de suministro y comercialización de energía, mientras que a lo segundo se debe regir por una tarifa regulada por la CREG.

En segundo lugar los usuarios de energía eléctrica se clasifican en residenciales, comerciales e industriales y sus tarifas se ven afectadas por los conceptos de solidaridad y subsidios, lo que implicaría que un cargador instalado en una vivienda estrato 6 no solo pagaría el costo de la energía que consumo, sino una contribución del 20% por el principio de solidaridad, mientras que el mismo cargador en una vivienda de estrato 2, pagaría el costo de la energía menor un subsidio que otorga la ley.



#### **9.2.2.4.2 Solución**

Con la ley 1955 de 2019 se habilita a la CREG para definir nuevos actores en el sector eléctrico y establecer su régimen regulatorio, esta amplia facultad le permitiría analizar la posibilidad de crear un nuevo tipo de usuario “usuario de Recarga Eléctrica” y establecer un marco específico en el que se no sujeto de sobre cargas ni subsidios como se mencionó anteriormente.

#### **9.2.2.5 Restricciones respecto de la vigencia de los Planes de Ordenamiento Territorial**

##### **9.2.2.5.1 Desafío**

Tal como lo concibe la Ley 388 de 1997, modificada por la 1537 de 2012, las revisiones de los POT's no son periódicas y, dependiendo de su contenido (i.e., estructural, urbano y o programa de ejecución de corto plazo), son revisados, salvo razones excepcionales de interés público, fuerza mayor o caso fortuito, en períodos constitucionales (i.e., i.e., estructural / largo plazo – 16 años, urbano y rural / mediano y corto plazo – 8 años o programa de ejecución de corto plazo – 4 años). En ese sentido, puede existir una restricción temporal a la incorporación en los POT's de los municipios (i.e., con población mayor a 100,000 habitantes), de espacios públicos para recarga.

##### **9.2.2.5.2 Solución**

La solución a este problema, que no involucra ajustar los POT's, radica en incentivar la implementación de sistemas de recarga rápida en estaciones de servicio, facilitar la incorporación de sistemas de recarga en copropiedades residenciales y comerciales y, adicionalmente, acelerar la reglamentación de parqueaderos preferenciales que trae el artículo 6 de la Ley 1974 de 2019, por parte de Ministerio de Transporte, para que los parqueaderos públicos en los municipios de categoría especial y los de primera y segunda categoría de acuerdo con lo establecido en la Ley 617 de 2000, destinen al menos el 2% de los parqueaderos ofertados a vehículos eléctricos con sistemas de recarga.

### **9.3 REGLAMENTOS TÉCNICOS REQUERIDOS Y SU ACTUALIZACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL PAÍS**

En el sistema jurídico colombiano no existe un régimen único que regule, de manera específica, los temas relevantes de las actividades vinculadas con el vehículo eléctrico, así como a los diversos agentes económicos que puedan concurrir en el desarrollo de tareas específicas en este mercado.

Se han adoptado, por parte de autoridades nacionales y algunas territoriales, una serie de normas jurídicas y medidas aisladas, que bien pueden enmarcarse desde la perspectiva ambiental, tributaria, aduanera, de transporte público, o, bien desde el campo de la eficiencia energética.

Pero, estas disposiciones no pueden considerarse que conforman un marco normativo, entendido como un conjunto de principios, criterios, reglas, que regulen la materia, teniendo en cuenta la definición de políticas de desarrollo, y los principios rectores que deben orientarlo.

En relación con las reglamentaciones técnicas colombianas del sector eléctrico aplicables al vehículo eléctrico, se cuenta con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) el cual, en su última revisión de agosto de 2013, incluye disposiciones y requerimientos técnicos para los sistemas de conexión y carga para los EVs. Así mismo, se tiene la Norma NTC 2050 en la que se definen recomendaciones relacionadas con los equipos para sistemas de carga externos a los EVs, ubicación de los cargadores para las baterías y disposición de los conectores, además se presenta la sección 625, que se compone principalmente de los requerimientos y disposiciones de los equipos utilizados para realizar la recarga de EVs, niveles de tensión y corriente y algunos conductores utilizados para dicha recarga. Estas normas no son aplicables a motocicletas, bicicletas, o vehículos similares, ni los vehículos eléctricos todo terreno autopropulsado como: carretillas industriales, grúas, elevadores, carritos de golf y relacionados<sup>16</sup>.

De la relación anterior se advierte que las normas citadas regulan aspectos concretos, particulares, sin que pretendan ir más allá del ámbito definido en cada una de ellas. Esa dispersión de normas expedidas por varias autoridades encargadas de regular aspectos puntuales relacionados con el vehículo eléctrico requiere de un marco que defina, entre otras, la política en forma integral.

Por otro lado, la no existencia en este momento de una regulación integral no significa la ausencia o carencia de normas constitucionales y legales que permiten, de una parte, realizar ese marco jurídico, y de otra, reglamentaciones específicas o particulares en algunos casos.

La definición de un marco regulatorio claro, que establezca criterios, reglas, y proporcione nuevas herramientas enfocadas en la promoción y desarrollo de una industria es, en relación con los potenciales inversores y demás interesados, una garantía de seguridad jurídica, considerada como elemento esencial en el tráfico económico<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> CIDET. Normatividad en Colombia sobre vehículos eléctricos. 31 de octubre de 2012. En: [http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad\\_sobre\\_vehiculos\\_electricos.pdf](http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_vehiculos_electricos.pdf)

<sup>17</sup> Corte Constitucional. C-250 de 2012: “La seguridad jurídica es un principio central en los ordenamientos jurídicos occidentales. La Corte ha señalado que este principio ostenta rango constitucional y lo ha derivado del preámbulo de la Constitución y de los artículos 1, 2, 4, 5 y 6 de la Carta. Al considerarse, en el ámbito de la certeza y estabilidad jurídica (seguridad jurídica), la existencia de precisos términos para que la administración o el juez adopten decisiones y el principio de conocimiento de las normas aplicables al caso concreto se sigue que dichos términos fijan condiciones de estabilización respecto de los cambios normativos.”

Las instalaciones deben acogerse al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE, el cual recoge las normas internacionales y nacionales tal como la Norma Técnica Colombiana NTC 2050<sup>18</sup>.

### 9.3.1 RETIE

En relación con los cargadores de las baterías y los sistemas de conexión el RETIE define **Fuente especificada no válida.**:

#### ➤ 20.7 Cargadores de baterías para vehículos eléctricos

Los cargadores de baterías para vehículos eléctricos se clasifican, según el modo de recarga, de acuerdo con la IEC 61851, así:

- *Modo 1: La conexión de EVs a la red eléctrica se realiza directamente por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico, con una puesta a tierra incorporada. Tanto el cargador, el sistema de control y el cable hacen parte del vehículo.*
- *Modo 2: La conexión de EVs a la red eléctrica se realiza por medio de un tomacorriente monofásico o trifásico tipo doméstico a través de un monitor de recarga, que puede tener incorporado o no el cable de recarga. La carga se limita a 10 A.*
- *Modo 3: La conexión de EVs a la red eléctrica se realiza a través de una base con tomacorrientes especiales que se alimenta desde un circuito dedicado. El sistema de monitoreo de la recarga está incorporado a la base.*
- *Modo 4: Es el caso típico de estaciones de carga. La conexión de EVs a la red eléctrica se realiza en corriente continua, en tiempo corto. El cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección.*

#### ➤ 20.7.1 Requisitos de producto

Los equipos destinados a la carga de baterías de vehículos automotores de tracción eléctrica (EVs), deben cumplir los siguientes requisitos adaptados de las normas IEC 61851-1, SAE J1772, UL 2594, UL 2231, UL 991, UL 1998, UL 2251 y demostrarlo mediante certificado de conformidad de producto:

- a) Ser diseñados según las tensiones normalizadas en Colombia y para ser conectados a la instalación eléctrica domiciliaria, instalaciones eléctricas industriales, estaciones de carga o sitios de parqueo.*
- b) El cargador debe contar con los sistemas de protección que impidan accidentes a las personas o el daño del sistema de carga del vehículo o de la red de alimentación.*
- c) Marcado y etiquetado: Debe tener una placa con marcación legible y permanente con la siguiente información, parámetros que deben ser verificados mediante pruebas en el proceso de certificación:*

---

<sup>18</sup> En el Anexo 9 se presentan los principales aspectos que trata la norma



- *Número de fases*
- *Tensión nominal de la fuente*
- *Tensión máxima y mínima de la carga*
- *Rata de carga*
- *Marca registrada o nombre del productor en Colombia o del importador*
- *Potencia consumida*
- *Factor de potencia*
- *Distorsión armónica*

➤ **20.7.2 Requisitos de instalación**

*En la instalación se deben cumplir los preceptos de la norma IEC 61851-1 o de la sección 625 de la norma NTC 2050, especialmente los siguientes:*

- a) *Los cargadores de baterías de vehículos eléctricos deben ser revisados técnicamente con la periodicidad que recomiende el productor o por lo menos una vez al año si el productor no determina la frecuencia de revisión, para validar su funcionalidad.*
- b) *En los modos de carga 3 y 4 deben tomarse las precauciones para prevenir la alimentación accidental de EVs al punto fijo de alimentación.*
- c) *Separación eléctrica. Una fuente no puesta a tierra que abastece un vehículo eléctrico debe tener una separación simple.*
- d) *Se debe proteger el equipo de influencias externas tales como:*
  - *Presencia de agua (EA). Cuando el punto de conexión está instalado al aire libre, el equipo será seleccionado con un grado de protección de al menos IPX4 para proteger contra salpicaduras de agua (AD4).*
  - *Presencia de cuerpos extraños sólidos (AE). Cuando el punto de conexión está instalado al aire libre, el equipo deberá ser seleccionado o provisto de un grado de protección de al menos IP4X con el fin de proteger contra el ingreso de objetos pequeños (AE3).*

*Igualmente, estas influencias externas se pueden controlar con sistemas de protección NEMA 3R.*

- *La protección básica del equipo debe incluir las siguientes opciones:*
  - *Cada punto de conexión deberá estar protegido individualmente por un interruptor diferencial con una corriente residual de funcionamiento que no exceda de 30mA a excepción de los circuitos que utilizan la medida de protección de separación eléctrica. Los dispositivos seleccionados deben desconectar todos los conductores activos, incluido el neutro.*
  - *Dispositivo de protección contra sobre corriente. Cada punto de conexión deberá ser suministrada por un circuito individual protegido por un dispositivo de protección contra sobre corriente.*
- *Cada enchufe o conector de vehículo debe estar situado lo más cerca posible del lugar de estacionamiento de EVs para su carga.*

- *Un enchufe o conector de vehículo deberá suministrar carga a un solo vehículo eléctrico.*
- *La parte más baja de cualquier tomacorriente debe estar colocado a una altura entre 0,5m y 1,5m del suelo.*

### **9.3.2 ICONTEC**

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es el Organismo Nacional de Normalización de Colombia. Entre sus labores se destaca la reproducción de normas técnicas y la certificación de normas de calidad para empresas y actividades profesionales. Bajo estas responsabilidades, esta institución tendrá que definir las especificaciones de los vehículos eléctricos, cargadores y baterías. Así mismo, se recomienda ajustar las normas relacionadas con buses para transporte público teniendo en cuenta que las tecnologías eléctricas no han sido incluidas en las normas técnicas existentes. En la actualidad, las bicicletas eléctricas se encuentran normalizadas, sin embargo, se puede establecer la necesidad para todas las tipologías de vehículos eléctricos y sus componentes.

### **9.3.3 Reglamentos estaciones de servicio**

En la actualidad existe reglamentación para el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, para estaciones de servicio en el territorio nacional. Reconociendo que estos establecimientos pueden ser empleados para la implementación de electrolineras se hace necesario articular y actualizar la reglamentación para facilitar su uso en zonas urbanas y vías nacionales con cargadores.

### **9.3.4 Reglamentos de propiedad horizontal**

Como se ha presentado, la necesidad de instalar equipos de recarga lenta para vehículos eléctricos en las residencias es evidente para el transporte particular. Reconociendo que el país existe una tendencia por la construcción de viviendas en conjuntos residenciales y/o en edificaciones en altura, se recomienda la modificación de los reglamentos que rigen la propiedad horizontal (Ley 675 de 2001) para facilitar la implementación de puntos de recarga en zonas de estacionamiento o espacios comunes.

### **9.3.5 Norma mobiliario urbano**

Las electrolineras en vía pueden ser consideradas como elementos de mobiliario urbano en el espacio público. Bajo esta consideración, las normas de mobiliario urbano y espacio público que son establecidas por las ciudades deben incluir este tipo de elemento en sus considerandos. Temas como ubicación, aspectos de seguridad, funcionalidad, servicios compartidos deben tener lineamientos para su uniformidad en un ambiente urbano. En el caso de Bogotá, no solo existen normas de mobiliario urbano sino además, el Instituto de Desarrollo Urbano IDU cuenta con reglamentos para andenes, urbanismo, parqueaderos, aprovechamiento económico del espacio público, entre otros temas. La articulación de estos reglamentos en las diferentes ciudades del país es necesario.

## 9.4 POTENCIAL DE INNOVACIÓN

La movilidad eléctrica representa desafíos en términos técnicos, políticos, operacionales, regulatorios y ambientales, muchos de los cuales no han sido debidamente identificados en el contexto nacional, esto al reconocer que solo estructurando e implementando proyectos de transporte eléctrico emergen las barreras. En anteriores años, Colciencias apoyó proyectos de innovación relacionados con la movilidad eléctrica en los cuales estuvieron vinculadas universidades (UPB Medellín, Uniandes, UNAL Bogotá) y empresas del sector eléctrico (ENEL Codensa). Bajo este tipo de proyectos Universidad – Empresa se generan incentivos a través de los cuales existe una retribución tributaria de una parte de la inversión realizada por la empresa.

En este sentido, la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos requiere la activación de este tipo de beneficios desde el gobierno que permita cofinanciar parte de los desarrollos y estudios de calidad de potencia e impacto en las redes, aplicaciones APPs para gestión de la carga, desarrollo de prototipos, articulación de generación con fuentes renovables y transporte eléctrico, entre otros temas. Con la creación del Ministerio en Ciencia y Tecnología se considera la oportunidad de trabajar este tipo de beneficios bajo una línea clara de investigación que tenga largo aliento en el tiempo.

Por su parte, en el país se han desarrollado vehículos eléctricos utilitarios y urbanos, que muestran las capacidades locales. No obstante, en temas de infraestructura existen oportunidades en el desarrollo de cargadores, aplicaciones para la gestión de carga, transformadores y equipos para el monitoreo/gestión de la carga.

También se requiere potenciar el clúster de energía en cada una de las regiones del país reconociendo las potencialidades de la industria nacional, considerar la movilidad eléctrica como sector beneficiario de regalías y capacitar a los empresarios para la estructuración y desarrollo de proyectos de investigación con el apoyo de la academia.

Además, las instituciones públicas deben buscar en la academia un aliado en el desarrollo de la movilidad eléctrica. Las universidades y el SENA deben formar a profesionales y técnicos con los conocimientos, habilidades e intereses en la movilidad eléctrica. Temas como “Smart-Grid”, “Vehicle to Grid”, redes bidireccionales de energía, protocolos de comunicación, calidad de potencia en las redes de distribución, vehículos autónomos, redes inteligentes, “Smart Metering”, son la realidad en la planeación y construcción de ciudades sostenibles desde el transporte eléctrico.

## 9.5 TIPOS DE SERVICIO Y REQUISITOS TARIFARIOS

El marco regulatorio del servicio de energía eléctrica clasifica a los usuarios en regulados y no regulados, para los primeros les permite negociar directamente los

precios de suministro y comercialización de energía, mientras que a lo segundo se debe regir por una tarifa regulada por la CREG.

Hoy los usuarios de energía eléctrica se clasifican en residenciales, comerciales e industriales y sus tarifas se ven afectadas por los conceptos de solidaridad y subsidios, lo que implicaría que un cargador instalado en una vivienda estrato 6 no solo pagaría el costo de la energía que consumo, sino una contribución del 20% por el principio de solidaridad, mientras que el mismo cargador en una vivienda de estrato 2, pagaría el costo de la energía menor un subsidio que otorga la ley.

Con la Ley 1955 de 2019 se habilita a la CREG para definir nuevos actores en el sector eléctrico y establecer su régimen regulatorio. Bajo esta regulación, se evidencia la necesidad de crear un nuevo tipo de usuario “usuario de Recarga Eléctrica” y establecer un marco específico no sujeto de sobrecargas (contribución) ni impuestos como se mencionó anteriormente. Este tipo de usuario debe cubrir al sector transporte público (trenes, buses, cables), esto al considerar que los principales usuarios de estos sistemas son personas de estratos socioeconómicos 1, 2 y 3, que son sistemas estratégicos para la movilidad y que se requiere un precio competitivo del servicio público. Sobre este último aspecto, la motocicleta emerge como alternativa al costo del pasaje, la mala calidad del servicio y los problemas cobertura del transporte público.

Así mismo, se requiere una definición para el servicio de recarga vehicular que permita ser excluido del pago de IVA (19%). Entre la contribución e IVA el precio del KWh se incrementa notablemente y se evidencia una disparidad entre la electricidad respecto a combustibles alternativos como el GNV, sustituto y mayor competencia en el sector transporte.

Para potenciales desarrollos de electrolineras (en vía urbana, carreteras o en estacionamientos privados) y modelos de financiamiento de infraestructura eléctrica para flotas (transporte público, flotas empresariales), es clave que el precio del KWh y sus costos asociados (inversiones y mantenimiento de la infraestructura eléctrica) sean competitivos. Es importante reconocer que en la operación de transporte, los combustibles representan aproximadamente la tercera parte de los costos operacionales y es el precio del KWh una variable que permite aumentar la competitividad de la movilidad eléctrica.

## **9.6 ACTORES (OPERADORES DE RED, FLOTA, MUNICIPIOS, ETC.)**

El análisis de actores vinculados al despliegue de una red de recarga para vehículos eléctricos incorpora los factores que hacen parte de la metodología propuesta, las actividades requeridas para su implementación, los retos y barreras, así como el marco legal aplicable. A partir de lo anterior, se realizó la clasificación e identificación de los entes públicos y privados requeridos. A continuación, se presenta el rol requerido para cada uno de estos:

**Gobierno Nacional:** El Gobierno Nacional ha establecido la estrategia nacional de movilidad eléctrica y las leyes para promover la movilidad eléctrica en el país. Como parte del marco legal la Ley de 1964 y el actual Plan de Desarrollo definen los objetivos a los municipios para el despliegue de estaciones de carga rápida. Así mismo, se resalta la importancia del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), el cual orienta a los organismos encargados de la dirección económica y social en el Gobierno, a través del estudio y aprobación de documentos sobre el desarrollo de políticas generales que son presentados en sesión. En la actualidad, los CONPES 3934 “Política de Crecimiento Verde” y 3943 “Política de Mejoramiento de Calidad del Aire” establecen objetivos y responsables de la promoción de la movilidad eléctrica en el país según se detalla en el presente informe. Por último, es responsabilidad del gobierno nacional buscar recursos y beneficios de cooperación internacional para impulsar la movilidad eléctrica, tanto en vehículos como en su infraestructura.

**Ministerios:** De acuerdo con los lineamientos de los CONPES, a continuación, se establecen las obligaciones que tiene el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de comercio, industria y turismo y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo para impulsar la movilidad eléctrica en el país.

- Desarrollar una propuesta para generar incentivos para la la penetración de vehículos eléctricos en el transporte de carga, público de pasajeros y privado.
- establecer los lineamientos de política para el desarrollo de la infraestructura, comercialización y operación de la movilidad eléctrica.
- establecer reglamentos técnicos para infraestructura dedicada al abastecimiento, suministro, operación y disposición de energía eléctrica para uso en el sector transporte
- desarrollo de una estrategia nacional para aumentar la incorporación de tecnologías de cero y bajas emisiones entre estos los vehículos eléctricos, y la articulación con el desarrollo de la estrategia nacional de movilidad eléctrica
- Elaborar un diagnóstico del proceso actual de ingreso de vehículos al país con estas tecnologías e identificará la necesidad de desarrollar nuevos estudios técnicos para evaluar la viabilidad de su utilización en el corto, mediano y largo plazo
- Concertar los criterios ambientales para infraestructura y operación a ser incorporados en los documentos CONPES de cofinanciación de los SITM y SETP de los 14 sistemas de transporte del país.
- Se considera conveniente la existencia de un comité interministerial para hacer seguimiento a las medidas orientadas a la masificación de vehículos eléctricos y su infraestructura de recarga.

**Empresas sector energía:** En la actualidad los operadores de red han jugado un papel esencial en el despliegue de puntos de carga en el país. En el caso de Medellín, EPM es la entidad responsable de fomentar el despliegue de



infraestructura de carga en la ciudad, tanto de vehículos particulares como de vehículos de transporte urbano. Por su parte, Celsia financió la adquisición de 26 buses eléctricos y su infraestructura de carga (además de las obras y equipamientos eléctricos) a través de contratos de compraventa de energía. Por su parte, Enel-Condensa ha asumido el rol de la planificación e implementación de la infraestructura de soporte de carga para los patios de los buses eléctricos en las licitaciones que adelanta la ciudad, además de haber desplegado varias electrolíneas en diferentes puntos de la ciudad de Bogotá.

Las empresas de energía han tenido un gran acercamiento con el Gobierno, con el objetivo de definir la normativa/regulación para la infraestructura de carga, incentivar proyectos en las ciudades (ej. Cupos para taxis eléctricos en Bogotá y Medellín), definir la normativa del uso de suelo para el despliegue de estaciones de carga pública y, delimitar las necesidades en infraestructura de soporte a los planes de expansión a los sistemas de transporte eléctrico.

**Empresarios del transporte:** Los empresarios del transporte son quienes compran realmente las flotas vehiculares eléctricas para el servicio de la comunidad bajo esquemas licitatorios y/o bajo concesiones de rutas. Los empresarios deben conocer la tecnología y validar sus requerimientos con el propósito de viabilizar proyectos de movilidad eléctrica y desarrollar la infraestructura eléctrica asociada. Como empresarios se deben evaluar los requerimientos operacionales y su adaptabilidad a cada contexto. Cualquiera sea la tecnología seleccionada, la infraestructura de recarga vehicular representa costos que pueden ser ajustados.

**Industria automotriz:** Se resalta la importancia que ha tenido la industria automotriz en la recolección de datos sobre el desempeño de sus vehículos en las ciudades y entre ellas. Esta recolección de datos ya sea tanto frente a los vehículos de uso particular como los vehículos de uso para el transporte público, son inputs necesarios para determinar la cantidad necesaria de puntos de recarga, tanto para la existencia actual de vehículos, como para la proyección

**Estaciones de servicio:** Como se mencionó anteriormente varias empresas en el negocio del suministro de combustible han expresado su interés de implementar una red de carga en sus estaciones de servicio, lo cual los hace un actor clave en la gestión y coordinación entre actores en temas regulatorios, financieros y de capacidad eléctrica, que serán temas que serán claves en el desarrollo de la red de recarga pública en EDS. Lo anterior, se justifica ya que estas empresas han apoyado al Gobierno en el desarrollo de temas regulatorios centrados en la definición de estándares de seguridad de las estaciones de carga y demás definiciones técnicas para su implementación en las estaciones de servicio.

**Universidades y centros de investigación:** El rol fundamental de la Academia, tal y como se mencionó previamente, es el desarrollo de investigaciones que conduzcan a generar innovaciones relacionadas con la movilidad eléctrica y

estudios que sirvan como base para el despliegue de la infraestructura de carga en el país, su impacto en la red eléctrica y su ubicación potencial de acuerdo con las características socioeconómicas de la población.

**Sector financiero:** El sector financiero es clave para viabilizar y generar la escalabilidad de los proyectos de instalación de puntos de carga en la ciudad. En la actualidad, este actor no ha sido muy protagónico, ya que las estaciones existentes han sido financiadas completamente con los recursos de las empresas distribuidoras y los operadores de red. Una vez se alcance un mayor desarrollo del mercado, la incorporación masiva de estaciones de recarga implicará mayores inversiones que necesariamente deberán ser apalancadas por el sector financiero.

## 9.7 ESQUEMAS FINANCIEROS

Desde un punto de vista financiero, se identifican diferentes esquemas posibles para el desarrollo de puntos de recarga: desde la inversión directa por el propietario / usuario del EV, pasando por la instalación de estaciones de recarga por parte de los distribuidores de combustibles y energía, hasta la inversión privada en electrolineras exclusivas para la recarga de EVs. La viabilidad de instalar electrolineras depende de que los ingresos del constructor/operador de una electrolinera sean suficientes para cubrir los costos fijos (i.e., que no dependen de la cantidad de carga demandada) y remunerar la inversión, incluyendo la obtención de una utilidad.

Para efectos de establecer, preliminarmente, la viabilidad financiera de la instalación de electrolineras, se analizó un caso esperado y un caso ácido, utilizando los supuestos presentados en el capítulo 7. El caso esperado parte del supuesto que un constructor/operador propenderá por instalar al menos dos cargadores en cada estación de recarga y minimizar el costo de los equipos eléctricos tratando de aprovechar la infraestructura de la red de suministro. Al instalar dos (2) cargadores, se estima que la inversión disminuya en un 20% respecto al caso ácido como se observa en la siguiente tabla:

*Tabla 9-1. Costos escenario esperado para una estación con dos cargadores*

CAPEX	Costo (COP)	Descripción
Cargador	270,963,000	2 Cargadores de 50 kW
Obra Civil	6,370,149	Excavaciones, concreto
Obra Eléctrica	22,295,521	Instalación Conduit, Cableado, otros
Equipos Eléctricos	135,365,666	Breakers, tableros, contador
Otros	36,338,515	Ingeniero Especializado para Puesta en Marcha
<b>TOTAL</b>	<b>471,332,851</b>	

Adicionalmente, se espera, como se indicó en el capítulo 3, que la demanda de carga sea de 6 horas diarias en promedio y durante todo el año. A partir de lo anterior, se calculó una tarifa por kWh recargado de tal manera que el constructor/operador de la electrolinera obtenga como mínimo un retorno al accionista del 14% nominal, bajo los siguientes supuestos:

Tabla 9-2. Supuestos generales del modelo financiero de constructor/operador de una electrolinera

Supuestos Generales del modelo financiero	
Cantidad de cargadores por estación	2
Vida útil de cargador (años)	10
Tasa de retorno al Capital	14%
Tasa de Deuda	10%
Proporción Deuda	70%
Proporción Capital	30%
Años de Amortización Deuda	7
Tasa impositiva	33%

A partir de dichos supuestos, el Estado de Pérdidas y Ganancias y el Flujo de Caja se comportarían de la siguiente manera.

Tabla 9-3. Estado de Pérdidas y Ganancias de una electrolinera con un cargador rápido

Estado de Pérdidas y Ganancias

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Ingresos	- 192,214,066	192,359,988	201,947,970	210,150,255	212,564,919	212,559,088	216,898,522	227,792,813	240,097,042	253,931,582	
Energía vendida	- 95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265	95,265
Precio por Kw	- 121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
(-) OPEX Variable	- 85,738,500	82,157,777	87,888,681	92,098,891	90,381,758	86,099,516	86,012,865	92,326,158	99,889,054	108,816,315	
Suministro de Energía	- 85,738,500	82,157,777	87,888,681	92,098,891	90,381,758	86,099,516	86,012,865	92,326,158	99,889,054	108,816,315	
(-) OPEX Fijo	- 26,356,093	27,278,556	28,233,305	29,221,471	30,244,223	31,302,770	32,398,367	33,532,310	34,705,941	35,920,649	
Servicios de Red	- 6,548,100	6,777,284	7,014,488	7,259,996	7,514,095	7,777,089	8,049,287	8,331,012	8,622,597	8,924,388	
Alquiler del Terreno	- 12,738,000	13,183,830	13,645,264	14,122,848	14,617,148	15,128,748	15,658,254	16,206,293	16,773,514	17,360,586	
Mantenimiento	- 4,713,329	4,878,295	5,049,035	5,225,752	5,408,653	5,597,956	5,793,884	5,996,670	6,206,554	6,423,783	
Seguros	- 2,356,664	2,439,148	2,524,518	2,612,876	2,704,326	2,798,978	2,896,942	2,998,335	3,103,277	3,211,891	
<b>EBITDA</b>	<b>- 80,119,473</b>	<b>82,923,655</b>	<b>85,825,983</b>	<b>88,829,892</b>	<b>91,938,939</b>	<b>95,156,801</b>	<b>98,487,290</b>	<b>101,934,345</b>	<b>105,502,047</b>	<b>109,194,618</b>	
Margen EBITDA	- 42%	43%	42%	42%	43%	45%	45%	45%	44%	43%	
(-) D&A	- 47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	
(-) Intereses	- 30,636,635	25,923,307	21,209,978	16,496,650	11,783,321	7,069,993	2,356,664	-	-	-	
<b>Utilidad antes de impuesto</b>	<b>- 2,349,553</b>	<b>9,867,063</b>	<b>17,482,720</b>	<b>25,199,957</b>	<b>33,022,332</b>	<b>40,953,524</b>	<b>48,997,340</b>	<b>54,801,060</b>	<b>58,368,762</b>	<b>62,061,333</b>	
(-) Impuestos	- 775,352	3,256,131	5,769,297	8,315,986	10,897,370	13,514,663	16,169,122	18,084,350	19,261,691	20,480,240	
<b>Utilidad neta</b>	<b>- 1,574,201</b>	<b>6,610,932</b>	<b>11,713,422</b>	<b>16,883,971</b>	<b>22,124,963</b>	<b>27,438,861</b>	<b>32,828,218</b>	<b>36,716,710</b>	<b>39,107,070</b>	<b>41,581,093</b>	

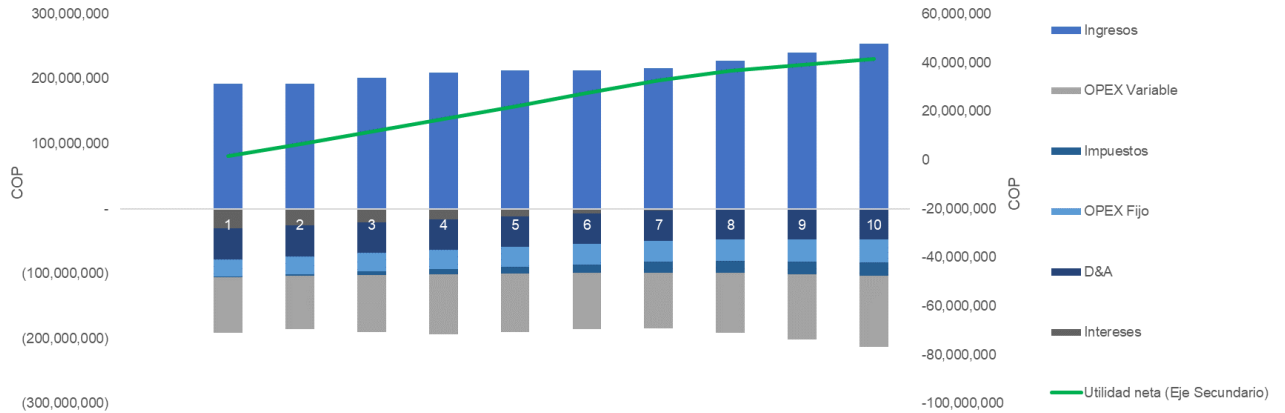


Figura 9-5. Estado de Pérdidas y Ganancias de una electrolinera con un cargador rápido

Tabla 9-4. Flujo de Caja de una electrolinera con un cargador rápido

Flujo de Caja		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	192,214,066	192,359,988	201,947,970	210,150,255	212,564,919	212,559,088	216,898,522	227,792,813	240,097,042	253,931,582	
(-) OPEX	-	112,094,593	109,436,333	116,121,987	121,320,363	120,625,980	117,402,286	118,411,232	125,858,469	134,594,995	144,736,964	
(-) Capex		471,332,851	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Desembolso de deuda		329,932,996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) Amortización	-	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	47,133,285	-	-	-
(-) Intereses de deuda	-	30,636,635	25,923,307	21,209,978	16,496,650	11,783,321	7,069,993	2,356,664	-	-	-	-
(-) Impuestos	-	775,352	3,256,131	5,769,297	8,315,986	10,897,370	13,514,663	16,169,122	18,084,350	19,261,691	20,480,240	
<b>(=) Flujo de Caja al Accionista (141,399,855)</b>		<b>1,574,201</b>	<b>6,610,932</b>	<b>11,713,422</b>	<b>16,883,971</b>	<b>22,124,963</b>	<b>27,438,861</b>	<b>32,828,218</b>	<b>83,849,995</b>	<b>86,240,355</b>	<b>88,714,378</b>	
<b>TIR</b>		<b>13.99%</b>										

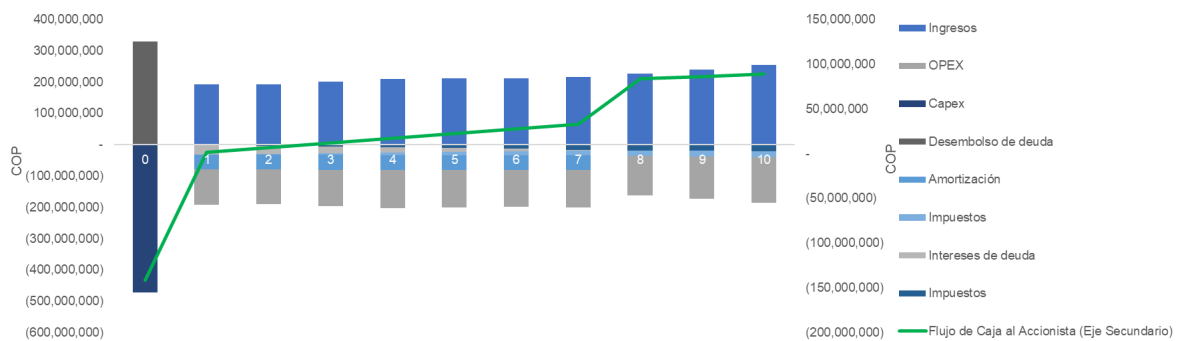


Figura 9-6. Flujo de Caja de una electrolinera con un cargador rápido

A partir de dichos supuestos, se estima que para dos cargadores rápidos el valor total de las inversiones asciende a aproximadamente \$471 millones de pesos, los cuales se asumen con una deuda/capital en proporción 70/30, requiriendo un aporte de capital por parte del inversionista de \$141 millones. El costo operativo promedio anual se estima en \$112 millones de pesos, con lo cual se concluye que el

propietario inversionista de la electrolinera tendría que cobrar un valor de \$1,009 pesos más IVA por cada kWh recargado.

Ahora bien, para efectos de determinar si un usuario estaría dispuesto a incurrir en dicho costo (haciendo caso omiso de las demás variables que afectan el costo de un vehículo tales como el costo de adquisición, el costo del mantenimiento, etc.), se comparó el costo por kilómetro de cargar un carro eléctrico en una electrolinera con respecto al costo por kilómetro de “tanquear” un carro de gasolina. Para ello se asumieron los rendimientos típicos para un vehículo a gasolina y el rendimiento promedio para un vehículo eléctrico utilizando las siguientes referencias:

Tabla 9-5. Rendimientos vehículos eléctricos

Marca	Referencia	Autonomía declarada [km]	Capacidad Batería [kWh]	Consumo [kWh/km]	Consumo [kWh/100 km]
BMW	i3	250	33	0.13	13
Nissan	Leaf	313	40	0.13	13
BYD	e5	400	47.5	0.12	12
Renault	Zoe	300	41	0.14	14
Renault	Twizy	100	8	0.08	8
<b>PROMEDIO</b>		273	34	<b>0.12</b>	12

A partir de un rendimiento de 0.12 kWh/Km, a continuación se presentan la diferencia del costo por kilómetro de cargar un vehículo eléctrico con relación a “tanquear” un vehículo con gasolina.

Tabla 9-6. Costo por kilómetro escenario esperado de cargar un vehículo eléctrico vs. tanquear un vehículo con gasolina

Rendimiento vehículo eléctrico		Rendimiento vehículo gasolina	
Rendimiento (kW/Km)	0.12	Rendimiento (Km/Gl)	50.00
Precio por kW	1,008.84	Precio por galón	9,705.00
Precio por Km sin IVA	121.06	<b>Precio por kilómetro</b>	<b>194.10</b>
<b>Precio por kilómetro con IVA</b>	<b>144.06</b>		

El costo de cargar el vehículo en una electrolinera medido como el costo por kilómetro sería, bajo los supuestos mencionados anteriormente, un 25% menor al costo por kilómetro de combustible líquido, con lo cual se concluye que en el escenario esperado, el costo de utilizar una electrolinera es competitivo respecto al costo de utilizar una estación de gasolina.

Teniendo en cuenta que el precio de venta de la energía en una electrolinera es altamente sensible a variables cuyo comportamiento tiene un alto grado de incertidumbre (e.g., la cantidad de EVs que cargan en el día, el hipotético retorno

que requeriría un operador para desarrollar una electrolinera y la posible aplicación de Ley 1715 de 2014 a las inversiones requeridas), se efectuaron una serie de sensibilidades para analizar el impacto de éstas en la viabilidad financiera de una electrolinera. A continuación, se resumen los resultados ante cambios en las principales variables.

Tabla 9-7. Costo por kilómetro para un vehículo eléctrico bajo diferentes supuestos

<b>Sensibilidades: Escenario Base Precio del Km Veh. eléctrico = 144.06 pesos</b>				
<b>Precio por Km Veh. a Gasolina (COP)</b>				<b>194.10</b>
Rentabilidad del Accionista	12%	14%	16%	
<b>Precio por Km Veh. Eléctrico (COP)</b>	<b>140.71</b>	<b>144.06</b>	<b>147.46</b>	
Horas de uso al día del cargador	4	6	8	
<b>Precio por Km Veh. Eléctrico (COP)</b>	<b>189.05</b>	<b>144.06</b>	<b>126.66</b>	
Aplicación de la Ley 1715	Exclusión del IVA y Aranceles	Ninguna exclusión	Exclusión del impuestos e inclusión de escudo fiscal	
<b>Precio por Km Veh. Eléctrico (COP)</b>	<b>132.12</b>	<b>144.06</b>	<b>129.21</b>	
Costo de la energía	No regulado	Regulado	Subsidiado (30% < al Regulado)	
<b>Precio por Km Veh. Eléctrico (COP)</b>	<b>119.21</b>	<b>144.06</b>	<b>109.93</b>	

Si bien bajo el escenario esperado el costo por kilómetro de cargar un vehículo eléctrico es un 25% menor al costo por kilómetro de utilizar un vehículo a gasolina, con algunas medidas de política tales como la aplicación de la Ley 1715 de 2014 o la inclusión de las electrolineras para ser beneficiarias del precio de la energía como, el costo por kilómetro de los vehículos eléctricos puede disminuir sustancialmente respecto al costo del kilómetro de combustible líquido.

Aun en el escenario ácido presentado en el capítulo 5, en el cual se requiere instalar una subestación de 75 kVA, el costo por kilómetro de cargar un vehículo eléctrico es inferior al costo de utilizar un vehículo a gasolina como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 9-8. Costo por kilómetro escenario ácido de cargar un vehículo eléctrico vs. tanquear un vehículo con gasolina

Rendimiento vehículo eléctrico		Rendimiento vehículo gasolina	
Rendimiento (kW/Km)	0.12	Rendimiento (Km/Gl)	50.00
Precio por kW (COP)	1,058.74		
Precio por Km sin IVA (COP)	127.05	Precio por galón (COP)	9,705.00
<b>Precio por kilómetro con IVA (COP)</b>	<b>151.19</b>	<b>Precio por kilómetro (COP)</b>	<b>194.10</b>

Finalmente, en la medida que los usuarios de vehículos eléctricos tengan un cargador en su casa, la tendencia a utilizar una electrolinera sería menor toda vez que la tarifa de una electrolinera incluye rubros adicionales como el costo de la infraestructura de recarga, la utilidad del inversionista. No obstante, en casos de necesidad de cargar el vehículo por baja carga o indisponibilidad del cargador propio, es importante comparar el costo de cargar el vehículo en la casa respecto al costo de una electrolinera.

En este sentido, partiendo del supuesto que un cargador propio tiene un costo aproximado de \$7 millones de pesos, y asumiendo los mismos supuestos en términos de financiación, vida útil y costo de la energía, el costo de kWh cargado en la casa sería aproximadamente \$1,475 pesos. Esto es superior al costo por kWh estimado para una electrolinera en el caso esperado, razón por la cual se concluye que el costo de cargar el vehículo en una electrolinera es competitivo en casos de necesidad, ya sea por la distancia al punto de recarga propio o por indisponibilidad del cargador propio.

Tabla 9-9. Costo por kWh para una electrolinera (Caso esperado) vs. Costo por kWh para el cargador propio

Supuestos electrolinera		Supuestos infraestructura de recarga propia	
Ingreso anual requerido por infraestructura (COP)	80,119,473.48	kW por cada carga	34
Ingreso anual requerido por costos fijos (COP)	26,356,092.77	Cantidad de cargas al año	36.50
Cantidad de energía vendida al año (kWh)	190,530.00	Costo anual infraestructura (COP)	1,272,612
Costo de Energía por kWh (COP)	450.00	(A) Costo de infraestructura por kWh (COP)	1,025.47
<b>Precio por kWh (COP)</b>	<b>1,008.84</b>	(B) Costo energía por kWh (COP)	450.00
<b>Precio por kWh (IVA incluido) (COP)</b>	<b>1,200.52</b>	<b>(A) + (B) Precio total por kWh (COP)</b>	<b>1,475.47</b>

## 9.8 INTEGRACIÓN CON MINISTERIOS

Para tratar este asunto, es de la esencia revisar los mandatos legales y vía CONPES, que hay a la fecha, sobre la materia. Para ello, empezaremos por lo

indicado en la Ley 1964 de 2019 y, luego, nos remitiremos a los documentos CONPES 3934 “Política de Crecimiento Verde” y 3943 “Política de Mejoramiento de Calidad del Aire” (toda vez que dicha integración de autoridades y Ministerios se halla en estos documentos), indicando el rol de los ministerios (y otras autoridades) y los efectos esperados que resulten de la aplicación de lo pretendido en la ley y en los CONPES.

### **Ley 1964 de 2019**

- El artículo 4 trae consigo un incentivo con efecto económico ya que prevé que dentro de los 6 meses siguientes a la expedición de esta ley (se espera que ocurra en enero de 2020), el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “establecerán un descuento en el valor de la Revisión Técnico-Mecánica y de emisiones contaminantes consagrada en la Ley 1383 de 2010, a los vehículos eléctricos. La tarifa de descuento se establecerá teniendo en cuenta que estos vehículos tienen un equipamiento tecnológico diferente y no generan emisiones de gases contaminantes”. Esta situación impactará positivamente el OPEX de quien compre y opere un bus eléctrico, por lo cual será tenido en cuenta en el modelo financiero del Proyecto.
- El artículo 5 indica que las entidades territoriales podrán generar incentivos para promover el uso de vehículos eléctricos, tales como reducciones en los impuestos vehiculares, exenciones tributarias, entre otras.
- El artículo 8 prefija que, como mínimo en el año 2025, al menos el 30% de los vehículos transporte público que sean comprados o puestos en funcionamiento por municipios, deberán ser eléctricos. Así mismo, el parágrafo 3 de este artículo ordena a que, como mínimo en el año 2025, los sistemas de transporte masivo deberán tener un mínimo del 10% de vehículos eléctricos. Esta disposición va en aumento gradual y, por cada dos años, deberá aumentar un 10%, hasta que, a partir del año 2035, la totalidad de los vehículos de estos sistemas sean eléctricos.
- El artículo 9 ordena que, antes de julio de 2021, los municipios deberán contar con, mínimo, 5 estaciones de carga rápida. Ahora bien, como se discutió anteriormente, lo que es determinante es el hecho de que las estaciones actuales de recarga de combustibles fósiles puedan prestar el servicio de recarga rápida en su infraestructura actual. De acuerdo con la más reciente publicación de la modificación del Decreto 1073 de 2015, la definición de “Estación de Servicio Mixta (combustibles líquidos y gaseosos)”, ya incorpora la distribución de energía eléctrica para vehículos. En caso de que quede en firme lo anterior (situación que deberá ocurrir en la medida del mencionado artículo 9 de la Ley 1964 de 2019 en su parágrafo 5 ordena que esta reglamentación que está adelantando el Ministerio de Minas y Energía ocurra).

### **CONPES 3934 “Política de Crecimiento Verde”**



Dentro de la definición de la política se presenta el objetivo de “Promover condiciones que favorezcan la adopción de tecnologías para la gestión eficiente de la energía y la movilidad sostenible”. Dentro de su plan de acción (estableciendo la “Línea de Acción 27). Desarrollar un programa nacional de electrificación para el transporte”.

En este se establece como objetivo principal, el desarrollo de un programa de movilidad eléctrica por parte del Ministerio de Transporte en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Ministerio de Minas y Energía y de la UPME, que provea un marco para establecer las acciones, metas, responsables que de manera comprensiva permitirán una incorporación gradual de vehículos eléctricos en el país, con las siguientes características:

- UPME (2018-2020): formulación de las bases para un programa de reemplazo tecnológico en la flota oficial del país, fomentando la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos para las entidades públicas. Esta consultoría, es, precisamente, parte del cumplimiento de este objetivo.
- Ministerio de Transporte (2019-2026): desarrollo de una propuesta de ajuste y creación de incentivos a la penetración de vehículos eléctricos en el transporte de carga, público de pasajeros y privado, la cual será presentada al Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- Ministerio de Minas y Energía; Ministerio de Transporte (2019-2020): establecer los lineamientos de política para el desarrollo de la infraestructura, comercialización y operación de la movilidad eléctrica. Realización de estudios técnicos y de mercado con el fin de definir la estructura operativa, comercial y tarifaria del uso de energía eléctrica en el sector transporte y, así, establecer reglamentos técnicos para infraestructura dedicada al abastecimiento, suministro, operación y disposición de energía eléctrica para uso en el sector transporte. La entrada en operación de dichos parámetros se realizará a partir del año 2023.
- Ministerio de Transporte (2019-2030): acompañamiento en el proceso de evaluación de alternativas para la integración de material rodante eléctrico en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) y en los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP). En 2030 el Ministerio concertará los criterios ambientales para infraestructura y operación a ser incorporados en los documentos CONPES de cofinanciación de los SITM y SETP de los 14 sistemas de transporte del país.

### **CONPES 3943 “Política de Mejoramiento de Calidad del Aire”**

Por su parte este CONPES establece claramente los objetivos de la transición de una movilidad sostenible que presente un menor impacto en la calidad del aire y en la salud pública. De esta manera, a partir de la evaluación de los impactos del sector del transporte sobre la calidad de vida de los ciudadanos y del análisis de los antecedentes en política que buscan corregir esto, se presenta el plan de acción

para la reducción de las emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles. A partir de lo anterior, se presentan a continuación los principales puntos para la implementación de vehículos eléctricos:

- Ministerio de Transporte; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019): análisis técnico y formulación de una propuesta de modificación a la ley que establece el impuesto de vehículos (Ley 488 de 1998), en función de su rodamiento y externalidades generadas por la edad, como el riesgo de accidentalidad, entre otros, de tal manera que se beneficien las tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones.
- Ministerio de Transporte; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Minas y Energía: desarrollo de una estrategia nacional para aumentar la incorporación de tecnologías de cero y bajas emisiones entre estos los vehículos eléctricos, y la articulación con el desarrollo de la estrategia nacional de movilidad eléctrica que hace parte del CONPES 3943. En este punto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaborará un diagnóstico del proceso actual de ingreso de vehículos al país con estas tecnologías e identificará la necesidad de desarrollar nuevos estudios técnicos para evaluar la viabilidad de su utilización en el corto, mediano y largo plazo.
- En este punto los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Transporte; Comercio, Industria y Turismo; Minas y Energía deberán diseñar de los programas que harán parte de la estrategia nacional. Estos programas, además de contar con un cronograma articulado con la estrategia para la renovación y modernización del parque automotor, deberán contar que cuenta con los siguientes puntos:
  - Mejoramiento al acceso a incentivos tributarios;
  - Creación de nuevos beneficios económicos;
  - Tarifas diferenciadas para el cobro de peajes;
  - Análisis costo beneficio de la implementación de las tecnologías vehiculares más limpias;
  - Evaluación de la restricción del ingreso de automóviles con motor diésel al país;
  - Definición de criterios de eficiencia energética;
  - Infraestructura requerida para su operación;
  - Definición de tarifas para el suministro de los energéticos;
  - Líneas de financiación para su adquisición; y,
  - Ajustes al marco normativo.

### **Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022**

Según DNP (2019), el el Plan de Desarrollo del Gobierno vigente tiene como metas en el pacto por el transporte, entre otras las siguientes:

- Aumentar en más de 60% los kilómetros de corredores para bicicletas, pasando de 154 km a 255 km.

- Implementar sistemas de transporte enfocados en el usuario para aumentar en 600.000 el promedio de viajes diarios que se realizan en los sistemas de transporte público cofinanciados por la Nación.
- Aportar al país en la reducción de 36 millones de toneladas de CO2 (meta del Pacto por la Sostenibilidad).
- Aumentar en 17% los kilómetros de infraestructura vial intervenida para sistemas de transporte público urbano cofinanciados por la Nación, para pasar de 1.019 km a 1.197 km: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Bogotá, Soacha, Área Metropolitana de Bucaramanga, Área Metropolitana de Barranquilla, Cali, Cartagena, Área Metropolitana de Pereira, Sincelejo, Popayán, Armenia, Montería, Santa Marta, Valledupar, Pasto y Neiva.
- Financiar, a través de recursos del Gobierno nacional, corredores férreos, así como buses con tecnologías limpias (eléctricos o gas), que cuenten con mecanismos que faciliten la accesibilidad a la población en condición de discapacidad.

Aumentar la calidad del servicio de transporte público para todos, con beneficios como una mejor calidad del aire y mayor accesibilidad con tarifas al alcance de los usuarios.

## 10 CONCLUSIONES

### 10.1 EXPERIENCIA INTERNACIONAL

De acuerdo con los análisis de la experiencia internacional en materia de movilidad eléctrica se puede observar que el crecimiento en la entrada de BEV se ha dado fundamentalmente en los vehículos privados, seguido por flotas de livianos dedicadas y en la actualidad se ha presenta una tendencia al despliegue de buses eléctricos en el transporte público.

Las estaciones de carga son muy importantes porque desde el punto de vista del usuario, de ellas depende la confiabilidad de la movilidad eléctrica. La experiencia internacional muestra que el 90% de los vehículos eléctricos cuentan con un sistema de recarga privado. En el caso colombiano este número podría ser diferente dependiendo de la viabilidad que se tendrá de instalar unidades de recarga en las viviendas o en las oficinas de las personas, lo que podría llevar a pensar en desarrollar una estrategia con énfasis en contar con más estaciones públicas que puedan atender un mayor número de BEV.

Debido a la importancia de contar con condiciones viables para el desarrollo de un sistema de recarga privada, es recomendable contar con un estudio que analice en detalle las condiciones existentes y el impacto que tiene el tipo y modalidad de la vivienda, (casa, apartamento, en arriendo o propia) a efecto de instalar un cargador para un usuario de EV de manera que afecte la relación entre carga privada y pública; y medir si lo anterior puede desincentivar la venta de EVs en el mercado colombiano.

En aras a promover el avance de los BEV, Europa, una de las regiones a la vanguardia en movilidad eléctrica, definió como objetivo a 2020 contar con un cargador por cada diez (10) vehículos eléctricos, de manera que se pueda satisfacer la creciente demanda de estos vehículos. En otros países como Estados Unidos o Noruega, cuentan con 1 cargador por cada 20 EVs.

En la medida que se promueve la carga pública, se ha identificado la necesidad de definir un tipo de conector para los cargadores que faciliten la carga eléctrica.

### 10.2 PROYECCIONES DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA

De acuerdo con el análisis realizado para estimar el número de cargadores por vehículo eléctrico, en Colombia se debe contar con un (1) cargador por cada 26 EVs si todos los cargadores fueran de 11 kW de potencia, un (1) cargador por cada 51 EVs si son de 22 kW y un (1) cargador por cada 117 EVs si el cargador de carga rápida con una potencia de 50 kW.

A partir de lo anterior, en materia de proyecciones de infraestructura de recarga, los análisis realizados para las seis ciudades consideradas en este estudio Bogotá, Medellín, Cali, Pereira, Ibagué y Tunja señalan un requerimiento potencial de al

menos 1,888 puntos de recarga pública y 441,797 puntos de recarga privados para 2030 en el escenario de cargadores públicos con potencia de 11 kW. Bajo este supuesto, el 56.94% deben estar ubicados en Bogotá, el 20.50% en Medellín, el 16.26% en Cali, y el 6.30% restante, entre las ciudades de Pereira, Ibagué y Tunja.

A nivel de buses y estaciones de carga liviana instalada en patios privados los cálculos señalan que para el 2023 se debería contar con 971 puntos de carga rápida con una potencia de 150 kW en las ciudades estudiadas.

En la medida que se considere conveniente evaluar cual poder ser el tamaño (potencia) y el número recomendable de cargadores, se requiere de un estudio de evaluación técnica – financiera que compare diferentes tamaños de cargadores con los potenciales de crecimiento de los BEV.

### **10.3 INFRAESTRUCTURA DE CARGA EN VÍAS NACIONALES**

Por otro lado, como parte de las actividades del estudio, se propuso una metodología para definir la cantidad de infraestructura de carga en vías nacionales depende de diferentes factores, como la topografía de la vía, si es montañoso, mixto o plano, la velocidad promedio, la autonomía promedio de los vehículos comercializados, entre otros, debido a que éstos afectan la distancia máxima entre electrolinerías.

A partir del análisis realizado para Colombia, se obtuvo que la distancia máxima entre electrolinerías en el peor caso es de 90 km, encontrado para la vía Bogotá – Medellín. Sin embargo, los resultados obtenidos son aproximaciones que corresponden a un análisis que requiere refinar los parámetros para aterrizarlos al contexto colombiano, además de realizar pruebas de ruta con vehículos eléctricos disponibles en Colombia en diferentes regiones del país de manera que se puedan obtener los datos necesarios para determinar cómo afecta la autonomía de los EVs bajo distintas condiciones y de esa manera refinar el modelo matemático propuesto, obteniendo resultados de mayor precisión.

### **10.4 COSTOS DE DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA**

A partir de los análisis de los costos asociados a la construcción y montaje de una electrolinería en Colombia, se tienen las siguientes conclusiones principales:

El CAPEX para el montaje de una electrolinería tiene diferentes variables que conforman el precio final, tales como, el costo de la subestación, el costo (tipo) del cargador, las condiciones del sitio que determinan la obra civil y eléctrica y los equipos requeridos, sin embargo, para efectos de referenciación y dimensionamiento del monto de inversiones, el costo típico de una electrolinería de carga rápida con un EVSE varía entre COP\$167 millones para el caso de una EVSE con funciones básica de información y bajos requerimientos de obra eléctrica, y puede llegar a costar más de COP\$250 millones, para el caso de una EVSE con

todas las funciones de comunicación, control y con la necesidad de inversiones importantes en las obras eléctricas, específicamente en la transformación.

La operación y mantenimiento (OPEX) de una electrolinera, al igual que los costos de inversión, cuenta con diferentes variables que hacen parte de este valor. Dentro de los gastos de operación, uno de los más altos corresponde al alquiler del terreno (46.7%), esto sin tomar en cuenta el costo de suministro de energía que es un costo variable y puede llegar a ser muy superior a cualquier otro costo de operación (84% del total de costos).

## 10.5 POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS

Las razones que han motivado la movilidad eléctrica si bien son particulares para cada país y región, han tenido elementos motivadores claramente identificables como son las restricciones por emisiones de gases de efecto invernadero y la afectación a la salud pública, lo que ha motivado la expedición de políticas públicas regionales como el caso de la EU o de naciones como China que ha postulado decisiones encaminadas a brindar sistemas de transporte más eficientes y limpios.

Estas políticas pueden ser tan integrales como lo decida el estado, en algunos casos la política establece, metas, mecanismos de regulación, normatividad e incentivos tanto a la demanda como a la oferta. En otros casos la política pública es más indicativa y deja al mercado su desarrollo en la medida que existan las condiciones necesarias para que se de este desarrollo.

Los procesos de implementación y el estado de la infraestructura de carga varían de un país a otro, así como de ciudad en ciudad, sin embargo, se han identificado estrategias comúnmente utilizadas para el rápido despliegue de carga pública. En primer lugar, se encuentra que los aportes de recursos por parte del Gobierno, los cuales son esenciales en las etapas iniciales de los programas de despliegue de infraestructura de carga, por lo menos, mientras se desarrolla el mercado y se reducen los costos tecnológicos a partir de innovaciones en el sector y la producción masiva de la tecnología. Así mismo, los gobiernos deben decretar políticas para incentivar en otros agentes la implementación de infraestructura de carga. Esto comienza desde la delimitación de estrategias nacionales de movilidad eléctrica que incluyan acciones para el despliegue de electrolineras, hasta políticas específicas sobre obligaciones de los actores involucrados en la implementación de tecnología, como son los beneficios tributarios/arancelarios o la definición de reglamentos técnicos específicos para estas tecnologías.

Por último, los enfoques colaborativos han tenido gran éxito en la promoción del desarrollo temprano de la infraestructura de carga. La colaboración entre fabricantes de vehículos eléctricos, empresas de energía, fabricantes y operadores de electrolineras, y las autoridades locales de transporte, planeación urbana de la ciudad y empresas de servicios públicos, ha permitido la creación de nuevos modelos de negocio rentables, la distribución de riesgos entre los actores, el

desarrollo de diferentes esquemas tarifarios y la comunicación eficiente entre estaciones de carga, la red eléctrica y los propietarios del espacio.

## **10.6 ACCIONES PARA ADOPTAR UNO O MÁS ESTÁNDAR**

Con la promoción y penetración de estaciones públicas se ha generado un debate que hasta la fecha no se ha resuelto en torno a la necesidad y conveniencia de adoptar uno o dos estándares de cargadores que se pidan a todos los proveedores de autos y estaciones de carga. Es sin duda un elemento que para esta consultoría se debe revisar para las decisiones que se tomen permita nuevas ofertas.

Debido a lo anteriormente mencionado, para poder establecer uno o más estándares de conectores es necesario realizar un estudio a fondo donde se analicen los siguientes puntos:

- Ventajas y desventajas que tiene cada uno de estos tipos de conectores, siendo aterrizados al contexto colombiano.
- Impacto de los costos de tener uno o más estándares al momento de realizar inversiones en infraestructura de carga.
- Impacto en los usuarios al tener uno o varios estándares de conectores.
- Mercado de vehículos eléctricos actuales en Colombia, verificando cuales son los vehículos de mayor demanda y que tipo de conector tiene.
- Mercado de cargadores de carga lenta, semirápida y rápida en Colombia, donde se analicen las opciones que ofrecen y la flexibilidad al momento de tener uno o varios estándares.

Durante el desarrollo del estudio, es importante involucrar a los principales actores del mercado, especialmente las marcas de vehículos eléctricos, quienes tendrían que acondicionarse en caso de que exista uno o varios estándares.

## **10.7 ESQUEMA FINANCIERO**

Desde el punto de vista del modelo de negocio, la viabilidad de instalar electrolineras públicas de carga rápida depende de que la tarifa por KWh que determina los ingresos del constructor/operador de una electrolinera sea suficientes para cubrir los costos fijos (i.e., que no dependen de la cantidad de carga demandada) y remunerar la inversión, incluyendo la obtención de un margen de utilidad. En este sentido, el reto más importante es lograr capturar una demanda suficiente para poder cubrir dichos costos. En la medida que todos los usuarios de vehículos eléctricos cuenten con cargadores propios, solamente usarán las electrolineras en casos de necesidad de carga de oportunidad o indisponibilidad del cargador propio.

Resaltamos que bajo los supuestos descritos en el presente informe, aún en el escenario más ácido, con una utilización promedio del cargador de 6 horas diarias, el costo por kilómetro de cargar un vehículo eléctrico es menor al costo por kilómetro de combustible líquido.

Se recomiendan varias acciones que pueden ayudar a hacer más competitiva la instalación de electrolineras públicas: Por una parte, están los beneficios de las económicas de escala, por ejemplo, desde el lado del constructor, se evidenció como una mayor cantidad de puntos de carga por electrolinera genera una reducción de los costos de instalación de estas estaciones de más del 30%. Para esto es vital que desde el Gobierno se delimiten y reglamenten los espacios privados/públicos que podrán ser utilizados para el despliegue de esta infraestructura. Desde el lado del operador, una mayor demanda de energía puede presentar beneficios en su estructura de costos, ya que, al poder negociar los precios de generación y comercialización como un usuario no regulado, este obtendría un precio mucho menor al que obtendría como un usuario regulado. Desde el Gobierno, en complemento con las políticas del uso del suelo, se evaluaron los beneficios que puede generar la aplicación de la Ley 1715 (incentivos tributarios/arancelarios sobre los equipos a instalar), a la escalabilidad en el despliegue de la infraestructura de recarga.



## 11 REFERENCIAS

- Agenbroad, J. (2014). *Pulling Back the Veil on EV Charging Station Costs*. Obtenido de Rocky Mountain Institute, RMI: <https://rmi.org/pulling-back-veil-ev-charging-station-costs/>
- Alcaldía de Medellín. (2019). *Geomedellin- Open Data - Lote del predio*. Obtenido de [https://geomedellin-medellin.opendata.arcgis.com/datasets/040e022660b14622a072915530f93cf9\\_8](https://geomedellin-medellin.opendata.arcgis.com/datasets/040e022660b14622a072915530f93cf9_8)
- Alvarez, S. (2018). *Tesla Semi's temporary 'Megacharger' system glimpsed in Madonna Inn sighting*. Obtenido de <https://www.teslarati.com/tesla-semi-temporary-megacharger-system-madonna-inn-sighting/>
- Andemos. (2019). *CIFRAS Y ESTADISTICAS - Asociación Nacional de Movilidad Sostenible*. Obtenido de <https://www.andemos.org/index.php/cifras-y-estadisticas-version-2/#1517512060654-1198bff9-ab32>
- Andrenacci, N., Ragona, R., & Valenti, G. (2016). A demand-side approach to the optimal deployment of electric vehicle charging stations in metropolitan areas. *Applied Energy* 182, 39-46.
- Arthur D. Little. (s.f.). *Electric mobility roll-out in Latin America – The arduous road to success*. Obtenido de [https://www.adlittle.ch/sites/default/files/viewpoints/adl\\_electric\\_mobility\\_roll-out\\_in\\_latin\\_america-min.pdf](https://www.adlittle.ch/sites/default/files/viewpoints/adl_electric_mobility_roll-out_in_latin_america-min.pdf)
- Botsford, C., & Szczepanek, A. (2009). Fast Charging vs. Slow Charging: Pros and cons for the New Age of Electric Vehicles. *EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*.
- C2ES. (2019). *Center for Climate and Energy Solutions*. Obtenido de <https://www.c2es.org/document/us-state-clean-vehicle-policies-and-incentives/>
- CAF - Banco de Desarrollo de América Latina. (2014). *Observatorio de Movilidad Urbana*.
- CHAdemo. (2019). *CHAdemo*. Obtenido de <http://www.chademo.com/wp/pdf/aboutus/Brolong.pdf>
- CHAdemo Association. (2016). *2015 Activity report*. Obtenido de [www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2016/06/FY2015ActivityReport\\_](http://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2016/06/FY2015ActivityReport_)

- Chitkara, H. (2019). *BP and Didi have announced a joint venture to construct electric-vehicle charging stations in China*. Obtenido de Business Insider: <https://www.businessinsider.com/bp-didi-electric-vehicle-charging-stations-china-2019-8>
- Colmenar, A., de Palacio, C., Borge-Diaz, D., & Monzón-Alejandro, O. (2014). *Planning Minimum Interurban Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles: Methodology and Application to Spain*. Obtenido de [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies)
- COLUMBIA | SIPA. (2019). *Electric Vehicle Charing in China and United States*. Obtenido de [www.energypolicy.columbia.edu](http://www.energypolicy.columbia.edu)
- CYPE Ingenieros. (2019). *Generador de Precios - Colombia*. Obtenido de CYPE Ingenieros: <http://www.colombia.generadordeprecios.info/>
- De Gennaro, , M., Paffumi,, E., & Martin, G. (2015). Customer-driven design of the recharge infrastructure and Vehicle-to- Grid in urban areas: A large-scale application for electric vehicles deployment. *Energy*, 82, 294-311.
- Deloitte. (2019). *¿Cuántos coches eléctricos necesita España?* Obtenido de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/strategy/articles/Cuantos-coches-electricos-necesita-Espana.html#>
- Destinos y Planes. (2019). *Carreteras de Colombia*. Obtenido de Destinos y Planes: <http://www.destinosyplanes.com/web/>
- EC. (2014). *Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014 , relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos*. Obtenido de <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d414289b-5e6b-11e4-9cbe-01aa75ed71a1/language-es>
- EC. (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844>
- El País. (2018). *El País*. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/economia/cali-ya-cuenta-con-la-primera-estacion-para-cargar-carros-electricos.html>
- Electricidad. (2018). *SEC facilita instalación de puntos de carga para autos eléctricos*. Obtenido de <http://www.revistaei.cl/reportajes/sec-facilita-instalacion-puntos-carga-autos-electricos/#>

- Electrify America. (2019). *Electrify America*. Obtenido de <https://www.electrifyamerica.com/our-plan>
- Electrify America. (2019). *Our investment plan*. Obtenido de Electrify America LLC: <https://www.electrifyamerica.com/our-plan>
- Electromaps. (2019a). *Puntos de Recarga en Bogotá*. Obtenido de Electromaps: <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/colombia/bogota>
- Electromaps. (2019b). *Puntos de recarga en Medellín*. Obtenido de <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/colombia/medellin>
- Electromaps. (2019c). *Puntos de recarga en Colombia*. Obtenido de Electromaps: <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/colombia>
- Enel. (25 de Nov de 2019). Panorama E-mobility Enel X. (C. Usaene-Sumatoria, Entrevistador)
- Enel X. (Abril de 2019). *Enel X*. Obtenido de <https://evcharging.enelx.com/news/blog/552-ev-charging-connector-types>
- Energy Facts Norway. (11 de 2019). *Enova plays an important role in the development of Norway's future energy system and the transition to a low-emission society*. Obtenido de <https://energifaktanorge.no/en/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/enova/>
- Estrada, J. (30 de Sep de 2014). *Estaciones de servicio son un negocio con valor agregado*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/archivo/estaciones-de-servicio-son-un-negocio-con-valor-agregado-2175011>
- Eurostats. (2019). *Electricity prices for non-household consumers*. Obtenido de Eurostats: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_non-household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers)
- EVCA. (Mayo de 2018). *The State of the Charge*. Electric Vehicle Charging Association. Recuperado el 11 de Oct de 2019
- FincaRaiz. (2019). *Lotes en Arriendo*. Obtenido de Finca Raiz: <https://www.fincaraiz.com.co/>
- Findeter. (2019). *SETP de Ibagué*.
- Francfort, J., Salisbury, S., & Smart, J. (2017). *Considerations for Corridor and Community DC Fast Charging Complex System Design*. Obtenido de Idaho

National Laboratory:  
<https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/reports/DCFCChargingComplexSystemDesign.pdf>

Gkatzoflias, D., Drossinos, I., Zubaryeva, A., Lyona, Z., Zambelli, P., & Dilara, P. (2016). *Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions*. Publications Office of the European Union - Scientific and Technical Research Reports.

Global Transmission Report. (2018). EV Charging Infrastructure in Europe: Deployment picks up pace. *Global Transmission Report*. Obtenido de <https://www.globaltransmission.info/archive.php?id=35199>

Gobierno de Japón. (Marzo de 2019a). *Ministry of Economy: Trade and Industry*. Obtenido de [https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0329\\_003.html](https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0329_003.html)

Gobierno de Japón. (Junio de 2019b). *Ministry of Economy, Trade and Industry*. Obtenido de <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190603003/20190603003.html>

Guo, C., Yang, J., & Yang, L. (2018). Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply. *Energies*.

Hall, D., & Lutsey, N. (Agosto de 2019). *ICCT*. Obtenido de [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EV\\_HDVs\\_Infrastructure\\_20190809.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV_HDVs_Infrastructure_20190809.pdf)

Hove, A., & Sandalow, D. (2019). ELECTRIC VEHICLE CHARGING IN CHINA AND THE UNITED STATES. *COLUMBIA SIPA. Center on Global Energy Policy*.

Hurt, E. (29 de Mayo de 2018). *Industry Alliance Wants Charging Standard for Electric Trucks, Buses*. Obtenido de Trucks.com: <https://www.trucks.com/2018/05/29/industry-alliance-charging-standard-electric-trucks-buses/>

ICCT. (2019). *Quantifying the Electric Vehicle Charging Infrastructure Gap Across U.S. Markets*. International Council on Clean Transportation, Washington. Obtenido de [www.theicct.org](http://www.theicct.org)

Ideca. (2019). *Mapa de referencia para Bogotá D.C.* Obtenido de <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/mapa-de-referencia>

IEA. (2018a). *Global EV Outlook 2018*. Recuperado el 20 de Sep de 2019, de IEA: [www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2018/](http://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2018/)

- IEA. (2018b). *Nordic EV Outlook 2018*. Obtenido de <https://webstore.iea.org/nordic-ev-outlook-2018>
- IEA. (2019). *Global EV Outlook 2019*. Recuperado el 20 de sep de 2019, de IEA: [www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/](http://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/)
- Ionity. (2019). *Ionity*. Obtenido de Ionity: <https://ionity.eu/>
- Kane, M. (2018). *Let's Look At Fast Charging Curves For Popular Electric Cars*. Obtenido de Inside EVs: <https://insideevs.com/news/338777/lets-look-at-fast-charging-curves-for-popular-electric-cars/>
- Kaufman, S. a. (2018). *The state of scooter sharing in United States cities*. Obtenido de [https://wagner.nyu.edu/files/faculty/publications/Rudin\\_ScooterShare\\_Aug2018\\_0.pdf](https://wagner.nyu.edu/files/faculty/publications/Rudin_ScooterShare_Aug2018_0.pdf)
- Landais Barrau, P. (2019). *Paris : qui sont les 8 opérateurs de trottinettes électriques en libre-service de la capitale? [Paris: Who are the 8 companies operating free-floating electric foot scooters in the capital?]*. Obtenido de [www.cnews.fr/france/2019-03-07/paris-qui-sont-les-8-operateurs-de-trottinetteselectriques-](http://www.cnews.fr/france/2019-03-07/paris-qui-sont-les-8-operateurs-de-trottinetteselectriques-)
- Lefevre, J. (2016). *Voiture électrique: le réseau Corri-Door n'est plus un labyrinthe*. Obtenido de Breezcar: [www.breezcar.com/actualites/article/reseau-bornes-de-recharge-rapide-corri-door-0316](http://www.breezcar.com/actualites/article/reseau-bornes-de-recharge-rapide-corri-door-0316)
- London Assembly. (2018). *Mayor launches new taskforce to expand electric vehicle infrastructure*. Obtenido de <https://www.london.gov.uk/press-releases/mayoral/taskforce-will-work-on-shared-delivery-plan>
- Lorentzen, E., Haugneland, P., Bu, C., & Hauge, E. (2017). *Charging infrastructure experiences in Norway - the worlds most advanced EV market*. Obtenido de Norwegian EV Association: <https://elbil.no/wp-content/uploads/2016/08/EVS30-Charging-infrastructure-experiences-in-Norway-paper.pdf>
- Lu Lu, Xue, L., & Zhou, W. (2018). *How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet?* Obtenido de <https://www.wri.org/blog/2018/04/how-did-shenzhen-china-build-world-s-largest-electric-bus-fleet>
- Lutsey, N., & Hall, D. (2017). *EMERGING BEST PRACTICES FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE*. International Council on Clean Transportation.

- Lutsey, N., & Nicholas, M. (Abril de 2019). *Update on electric vehicle costs in the United States through 2030*. Obtenido de The ICCT: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV\\_cost\\_2020\\_2030\\_20190401.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV_cost_2020_2030_20190401.pdf)
- Ma, L., Zhai, Y., & Wu, T. (2019). *Operating Charging Infrastructure in China to Achieve Sustainable Transportation: The Choice between Company-Owned and Franchised Structures*. Sustainability.
- Marchetti, N. (2013). *Green Tech Media*. Obtenido de <https://www.greentechmedia.com/articles/read/japan-automakers-go-all-in-on-massive-ev-charging-plan#gs.0zeahk%20or%20https://www.axj3ru>
- Miles, A. (Feb de 2019). *Standardization of EV Charging in the EU*. Obtenido de <https://cleantechnica.com/2019/02/16/standardization-of-ev-charging-in-the-eu/>
- Mintransporte. (2019). *Documentos del Ministerio-Estadísticas de Movilidad*. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/15/estadisticas/>
- Morrisey, P., Weldon, P., & O'Mahony, M. (2016). Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle. *Energy Policy*, 89: 257-270.
- Nicholas, M. (Agosto de 2019). *Estimating electric vehicle charging infrastructure costs across major U.S. metropolitan areas*. Obtenido de the ICCT: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EV\\_Charging\\_Cost\\_20190813.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV_Charging_Cost_20190813.pdf)
- Nicholas, M., & Hall, D. (Julio de 2018). *Lessons Learned On Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments*. Obtenido de The ICCT: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ZEV\\_fast\\_charging\\_white\\_paper\\_final.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ZEV_fast_charging_white_paper_final.pdf)
- OLEV. (2019). *OLEV grant schemes for the installation of electric vehicle charging infrastructure*. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/collections/government-grants-for-low-emission-vehicles>
- Parlamento Europeo. (2014). Obtenido de Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32014L0094>

- Peraza, W. (2014). *Distribución de la Temperatura Media Anual (°C) Promedio Multianual 1981-2010*. Obtenido de IDEAM: [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp\\_Med\\_Anuar.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp_Med_Anuar.pdf)
- Queo. (2019). *Costo Parquaderos para Carro*. Obtenido de Queo: <https://queo.com.co/busco-parquadero/carro?latitud=4.7109886&longitud=-74.072092>
- Ramírez, J. (2019). *En Medellín, primeros taxis eléctricos empezaron a rodar*. Obtenido de RCN Radio: <https://www.rcnradio.com/colombia/antioquia/en-medellin-primeros-taxis-electricos-empezaron-rodar>
- Reuters. (2017). *U.S. transit agencies cautious on electric buses despite bold forecasts*. Obtenido de <https://www.reuters.com/article/us-transportation-buses-electric-analysis/u-s-transit-agencies-cautious-on-electric-buses-despite-bold-forecasts-idUSKBN1E60GS>
- Revista Eléctricidad. (2019). *Electromovilidad: pliego técnico para primera normativa se someterá a consulta pública*. Obtenido de <http://www.revistaei.cl/2019/09/03/electromovilidad-pliego-tecnico-para-primera-normativa-se-sometera-a-consulta/>
- Revista Semana. (Nov de 2018). *¿Sobrevivirán los taxis eléctricos en Bogotá?* Obtenido de Semana: <https://www.semana.com/nacion/articulo/situacion-de-los-taxis-electricos-en-bogota/592896>
- Runnerstrom, N. (2018). *How to become a scooter charger*. Obtenido de [blog.transitscreen.com/how-to-become-a-charger-shared-economy](http://blog.transitscreen.com/how-to-become-a-charger-shared-economy)
- RUNT. (2019). *Parque Automotor Nacional*.
- Sanchez, J. (2012). *CONNECTIVIDAD INTERURBANA*. Bogotá: Departamento de Planeación Nacional (DNP).
- SICOM. (2019). *Sistema de Comercialización de Combustibles*. Obtenido de <http://www.sicom.gov.co/noticias.shtml?apc=d1E1--&x=3103>
- Smith, M., & Castellano, J. (2015). *Costs Associate With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment*. Obtenido de U.S. Department of Energy: <https://energy.gov/eere/vehicles/workplace-charging-equipment-costs>
- SoyMotor. (Septiembre de 2019). *Soy Motor*. Obtenido de <https://soymotor.com/coches/noticias/tesla-semi-932747>
- Sustainable Bus. (2019). *5 per cent of city buses registered in 2018 in Europe were electric buses*. Obtenido de Sustainable Bus: <https://www.sustainable->

bus.com/news/5-per-cent-of-city-buses-registered-in-2018-in-europe-were-electric-buses/

Tesla. (2019). Obtenido de Tesla: <https://www.tesla.com/support/supercharging>

Transport & Environment. (2018). *Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU*. Recuperado el 11 de Oct de 2019

Tritium. (2019). *Veefil-PK*. Obtenido de Tritium: <https://www.tritium.com.au/product/productitem?url=veefil-pk>

U.S. Department of Energy. (10 de Oct de 2019). *afdc.energy.gov*. Recuperado el 10 de Oct de 2019, de Alternative Fuels Data Center - U.S. Department of Energy: <https://afdc.energy.gov/stations/states>

UN Environment. (2018). *ELECTRIC MOBILITY: DEVELOPMENTS IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN AND OPPORTUNITIES FOR REGIONAL COLLABORATION*. Obtenido de <http://movelatam.org/wp-content/uploads/2019/06/MOVE-Regional-Report-2018-EN.pdf>

US Energy Information Administration. (2019). *Average Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector*. Obtenido de US Energy Information Administration: [https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=epmt\\_5\\_6\\_a](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_5_6_a)

Viswanathan, S., Appel, J., Chang, L., Man, I., Saba, R., & Gamel, A. (2018). *Development of an assessment model for predicting public electric vehicle charging stations*. Obtenido de SpringerOpen: <https://etrr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-018-0322-8>

Wang, K., & Ke, y. (2018). Public-Private Partnerships in the Electric Vehicle Charging Infrastructure in China: An Illustrative Case Study. *Hindawi: Advances in Civil Engineering*.