

CIUDADES SOLARES: UNA MIRADA DESDE LA PLANIFICACIÓN URBANA

Tomás Gómez

Investigador, Programa Planes y Proyectos Urbanos UC

Roberto Moris

Director, Programa Planes y Proyectos Urbanos UC, Profesor Escuela de Arquitectura y del Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC

RESUMEN

Las ciudades demandan dos tercios de la energía producida a nivel mundial. Esta cifra se prevé que se incremente en el futuro debido al rápido crecimiento demográfico de las zonas urbanas. En tanto, las ciudades son responsables por el 70% de las emisiones globales CO₂ con las consecuencias medio ambientales, sociales y económicas que esto conlleva. Las ciudades solares es un concepto que representa una opción para descarbonizar la matriz energética de las ciudades al reemplazar los combustibles fósiles por energías renovables no convencionales, solar en particular. Se consideran cuatro dimensiones como fundamentales para la formulación de una ciudad solar: aspectos tecnológicos; gobernanza; compromiso de la comunidad local y planificación urbana sustentable. El presente artículo se centra en la relación entre la ciudad solar y la planificación urbana bajo tres ámbitos de relevancia: matriz energética renovable, morfología, estructura y construcción urbana, y movilidad urbana. Definida la dimensión planificación urbana y sus tres ámbitos, se aplicó esta teoría a la realidad de la ciudad de Diego de Almagro, provincia de Chañaral, región de Atacama, Chile. La alta radiación solar de esta zona y su localización estratégica le otorgan a Diego de Almagro cualidades suficientes para convertirse en la primera ciudad solar de Chile.

Palabras clave: ciudades solares, energía, planificación urbana sustentable

ABSTRACT

Cities demand two-thirds of the total energy production worldwide. This figure will increase in the future due to rapid population growth taking place in urban areas. Meanwhile, cities account for 70% of global CO₂ emissions with the environmental, social and economic consequences this entails. Solar Cities is a concept that represents an option to decarbonize the energy matrix of cities by replacing fossil fuels with renewable energy. Three dimensions were considered as fundamental for the formulation of a solar city: technological aspects, governance; community engagement and sustainable urban planning. This article focused on urban planning and developed three areas of relevance: renewable energy matrix, urban morphology, structure and form, and urban mobility. Defining the urban planning dimension and its three areas, this theory was applied to the reality of the city of Diego de Almagro, Chañaral province, Atacama region, Chile. The high solar radiation of this city, added to its strategic location gives Diego de Almagro enough qualities to become the first solar city in Chile.

Keywords: solar cities, energy, sustainable urban planning

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el 81,1% del suministro total de energía primaria a nivel mundial proviene de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón) (IEA 2016), mientras que dos tercios del total de energía es demanda por zonas urbanas (IRENA 2016). Hoy el 50% de la población mundial vive en ciudades (World Bank 2016), tendencia que se estima se mantendrá al alza, alcanzando dos tercios de la población mundial para el año 2050 (McDonnell y MacGregor 2016). Es altamente probable que esta situación derive en un alza exponencial de la demanda energética, que incrementaría, a su vez, la presión sobre los recursos naturales y la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, exacerbando el cambio climático y sus impactos (Kammen y Sunter 2016).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2014), las ciudades producen aproximadamente el 70% de las emisiones globales de CO₂-eq convirtiéndose en las principales responsables del cambio climático. A su vez, las ciudades son especialmente vulnerables a los efectos de este fenómeno: subida del nivel del mar, eventos climáticos extremos, inundaciones, aluviones, olas de calor, incendios, sequías, contaminación atmosférica, entre otros eventos capaces de ocasionar pérdidas vidas humanas e importantes daños a la propiedad pública y privada. Estos eventos son capaces de impactar la economía local y masivos desplazamientos de personas producto de la pérdida de sus hogares (IPCC, 2014).

En Chile el 90% de la población vive en zonas urbanas, cifra superior a la tendencia mundial (World Bank, 2016). Las emisiones chilenas de GEI aumentaron un 113,4% entre los años 1990 y 2013, alcanzando un total de emisiones de 109.908,8 Gg CO₂-eq (MMA 2016)^[1]. La energía es el sector que más contribuye, representando un 77,4% del total de emisiones de GEI (MMA, 2016). En el año 2012 el total de la demanda energética chilena fue de 65 TWh, demanda que se prevé se incrementó en un 84% para el año 2025 llegando a 120 TWh (Silva y Nasirov 2017). El 60% de la energía primaria de Chile es generada a partir de combustibles fósiles importados, situación que sitúa al país en una posición de dependencia e inestabilidad energética (CNE, 2014; Silva y Nasirov 2017). Sin embargo, Chile cuenta con un gran potencial de generación energética a partir de fuentes renovables, hasta hace unos años postergado debido a la importancia otorgada a los combustibles fósiles (Silva y Nasirov 2017). En el año 2015 el gobierno de la presidenta Bachelet impulsó la nueva política energética “Energía 2050”, la cual apunta a lograr que el 70% de la matriz energética chilena provenga de fuentes renovables no convencionales para el año 2050 (Ministerio de Energía, 2016).

En tanto, la región de Atacama presenta condiciones de radiación solar excepcionales a nivel mundial con rangos de Irradiación Horizontal Global (GHI)^[2] entre 2.400 y 2.800 kWh/m²/año^[3] (Escobar et al. 2015; SolarGis 2017). Esta condición excepcional sumada a las favorables y recientes

políticas energéticas chilenas, han facilitado la instalación de grandes plantas solares fotovoltaicas, las cuales representan ya representan el 37,5% del total de energía eléctrica generada en la región de Atacama (CNE, 2017). Sin embargo, la rápida penetración de la energía solar de gran escala ha contrastado con la penetración de esta energía en el contexto urbano. Las ciudades intermedias localizadas en la región de Atacama presentan condiciones ideales para implementar experiencias pioneras de desarrollo sustentable a partir de la energía solar.

Inspirado en las potencialidades de fomentar ciudades resilientes en términos energéticos, el presente artículo propone explorar el concepto de “ciudad solar”. En este contexto, se presentan las características que tendría una “ciudad solar”, vale decir un enclave urbano que, aprovechando sus oportunidades en términos de energía solar, se desarrolla en forma sustentable. Este artículo desarrolla el concepto de ciudades solares desde la dimensión de la planificación urbana tomando como caso de estudio la ciudad de Diego de Almagro, Región de Atacama la cual que posee características favorables para convertirse en un ejemplo pionero de ciudad solar en Chile.

1. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR CIUDAD SOLAR?

La energía proveniente del sol es considerada como la fuente primaria para todo el resto de las energías renovables. Esto se debe a que el resto de dichas energías son generadas o estimuladas a partir de la radiación solar (New Scientist, 2011). La electricidad generada a partir de la radiación solar es considerada como una de las energías más limpias al emitir considerablemente menos GEI durante su ciclo de vida que fuentes energéticas basadas en combustibles fósiles^[4] (NREL 2013). Es una fuente energética capaz de reemplazar a combustibles fósiles tales como petróleo y carbón (Solangi et al. 2011).

El concepto de ciudad solar es reciente y su definición es aún incipiente. Jenks y Dempsey (2005: 357) definen ciudad solar “como aquella que busca

reducir sus niveles de emisiones de GEI mediante una estrategia holística que introduce sistemas de energía renovables junto con un uso racional de la misma”. Así, se hace cargo de los desafíos tecnológicos y de sustentabilidad que un acceso equitativo a un sistema de energía bajo en carbono supone, y explora las potencialidades de un sistema energético seguro, descentralizado, compatible con el medio ambiente y que se beneficia de una fuente de energía 100% renovable como el sol (Grubler y Fisk 2013; IRENA 2016).

Desde la perspectiva urbanísticas, las ciudades solares no solo apuntan a reducir el consumo energético y reemplazar los combustibles fósiles, sino que también proteger y mejorar la calidad de los espacios urbanos, proveen de mejores estándares en movilidad, mitigar el cambio climático y alcanzar mayores niveles equidad en el acceso a mejores entornos urbanos (Beatley 2007; Jenks y Dempsey 2005). Sistemas urbanos de estas características podrían aumentar la resiliencia local al reducir la dependencia de combustibles fósiles importados, generan sistemas más eficientes de energía y mejoran la calidad de vida de los ciudadanos (Newman et al. 2009; IRENA 2016).

Se han hecho esfuerzos concretos por materializar ciudades solares. El caso de Australia resalta por la magnitud y alcance de una iniciativa gubernamental denominada “*Solar City Program*”. El gobierno de Australia invirtió \$ 94 millones de dólares y el programa incluyó a 7 ciudades australianas: Adelaide, Alice Springs, Blacktown, Central Victoria, Moreland, Perth y Townsville. El programa comenzó en el año 2004 y se basó en la asociación entre todos los niveles de gobierno más la asociación de estos con la industria, los negocios y la comunidad local (Australian Government 2013). Los principales objetivos del programa fueron, por una parte, identificar el precio real de implementación de sistemas solares, eficiencia energética y medidores inteligentes considerando el conjunto de barreras tecnológicas. Y, por otra parte, identificar e implementar soluciones para superar barreras en la generación solar distribuida, eficiencia

energética y manejo de la demanda eléctrica en áreas urbanas conectadas a la red (Australian Government 2013).

Tomando en cuenta lo anterior, las ciudades solares podrían ser entendidas bajo cuatro dimensiones de relevancia (figura 1): una tecnológica, relacionada con los desafíos de innovación planteadas por el reemplazo de los combustibles fósiles por parte de ERNC; una referente a la gobernanza local, elemento que ha sido considerado como clave para relacionar las problemáticas globales con la realidad local (Heinrichs et al. 2013); otra relacionada con el nivel de compromiso de la comunidad local de involucrarse en cambios de hábitos y adquisición de nuevas tecnologías; y la última se relaciona con la planificación urbana sustentable que se requiere para organizar estas innovaciones y políticas dentro las complejas dinámicas y tejidos urbanos.

En tanto, la planificación urbana sustentable presenta características que la diferencian de la planificación urbana tradicional. La figura 2 expone cinco pilares identificados por Wheeler (2013) como cruciales dentro de cualquier esfuerzo por hacer planificación urbana sustentable.

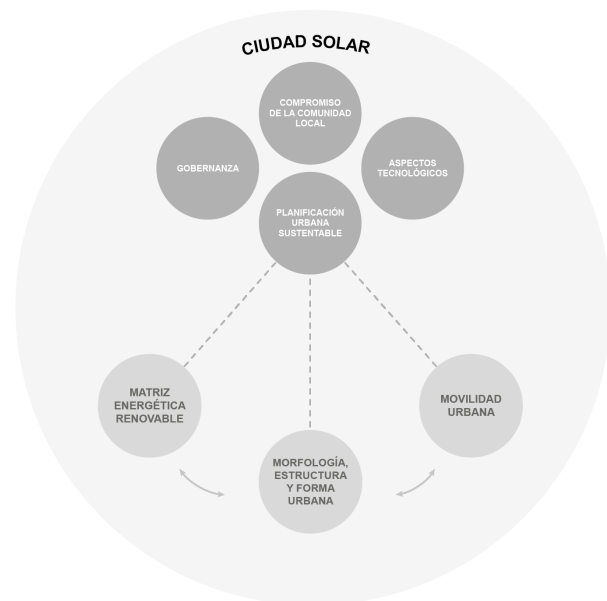


Figura N°1. Esquema de ciudades solares y sus dimensiones.

Elaboración: OCUC 2017

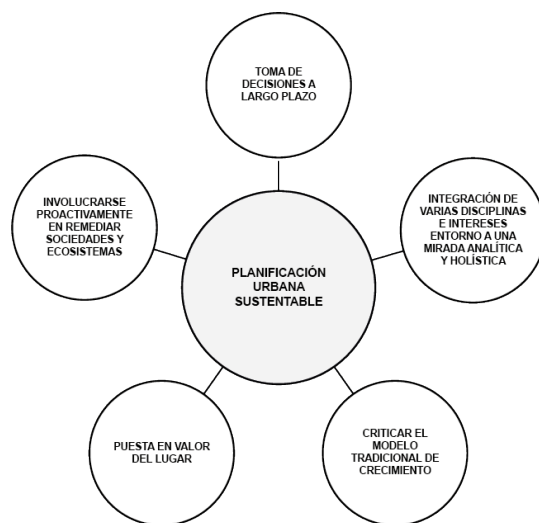


Figura 2. Características Planificación Urbana Sustentable.

Fuente: Wheeler 2013; Elaboración: OCUC 2017

El presente artículo desarrolla el concepto de ciudad solar tomando en consideración la dimensión de planificación urbana sustentable y su relación con los aspectos energéticos de las ciudades. Para ello, se consideraron tres ámbitos críticos en dicha relación: 1) una matriz energética renovable; 2) morfología, estructura y construcción urbana; 3) movilidad urbana (ver figura N°1). Estos tres ámbitos se abordarán en profundidad en lo referente al concepto de ciudad solar, intentando hacer interrelaciones entre ellos.

MATRIZ ENERGÉTICA RENOVABLE

Los sistemas convencionales de planificación urbana son en su gran mayoría centralizados, jerárquicos e inflexibles, estas características los hacen inadecuados para la nueva realidad urbana de localidades alejadas de los centros de toma de decisiones (Resilience 2016). Una política energética exitosa será aquella que logre identificar beneficios sociales, económicos y ambientales a escala local derivados de iniciativas por descarbonizar la matriz energética (Wheeler 2013). El enfoque local es relevante ya que gran parte de las fuentes de emisión de CO₂ tienen directa relación con decisiones tomadas en este nivel: regeneración de espacio urbanos; sistema de transporte, uso de energías renovables, inversiones públicas, creación de traba-

jos, planes reguladores, construcción de viviendas sociales, entre otros (Jenks y Dempsey 2005). A su vez, los gobiernos locales poseen el conocimiento acerca de las problemáticas, prioridades y particularidades del territorio del cual forman parte (Heinrichs et al. 2013).

La adopción de una matriz energética urbana basada en energías renovables posee beneficios tangibles para las comunidades locales tanto en lo referente al medio ambiente: disminución de emisiones de GEI y contaminación atmosférica; como en lo económico: reducción de la cuenta de la luz para viviendas y comercios, disminución de los costos operativos del sistema de energía ya que se evitan inversiones en infraestructura de transmisión, reducción de las pérdidas de energía y disminución del transporte de combustibles fósiles (Burr y Hallock 2015). En este sentido, Wheeler (2013) argumenta que la disminución de los niveles de consumo energético y el reemplazo de los combustibles fósiles por energías renovables son dos aspectos centrales para lograr un sistema energético sustentable.

La disminución de la demanda energética es frecuentemente asociada con el concepto de “eficiencia energética” definido como el uso de menos energía para realizar la misma tarea mediante mejoras técnicas en procesos y estructuras (Wheeler 2013). En teoría, avances en eficiencia energética implicarían un menor consumo de energía primaria lo cual incrementaría la sustentabilidad general del sistema (Vandevyvere y Stremke 2012). Prueba de la relevancia otorgada a la eficiencia energética es que en el año 2015 este sector representó el 12% (\$221 billones de dólares) de la inversión mundial en energía (IEA 2016). Sin embargo, la realidad ha demostrado que las ganancias en eficiencia conducen a una disminución de los costos de generación y operación lo cual tiende a optimizar procesos productivos, haciendo que las industrias expandan sus negocios y en consecuencia producir más, incrementando el uso de energía, este es el llamado “efecto rebote” (Herring, 2006).

Por otro lado, el concepto de “conservación

energética”, frecuentemente relacionado con eficiencia energética, implica una disminución del consumo energético mediante una disminución en la calidad del servicio energético (Herring, 2006). Conservación energética involucra consumir menos energía mediante cambios de hábitos en el uso de la energía. Por ejemplo, apagar las luces que no se están usando, preferir caminar antes que usar el automóvil, comprar aparatos eléctricos de menor consumo, entre otros. En este sentido, Beatley (2007) argumenta que la incorporación de energía solar pasiva que se adapte a las condiciones climáticas y geográficas locales es una buena forma de comenzar esfuerzos por reducir la demanda energética de una ciudad.

El segundo aspecto relevante para la matriz energética de una ciudad solar es el reemplazo de los combustibles fósiles por ERNC. En este sentido, los costos asociados a la compra e instalación de las tecnologías solares de energía han disminuido dramáticamente al punto de competir económicamente con tecnologías basadas en combustibles fósiles (IRENA 2016)^[5]. De acuerdo a Toledo et al. (2010), esta disminución en los costos se debe principalmente a tres factores: mejoramiento en la eficiencia de celdas solares; mejoramientos de las tecnologías de manufactura; y economías de escala.

En relación a otras fuentes energéticas, el Costo Nivelado de la Energía o LCOE (por sus siglas en inglés) es un “análisis que relaciona el costo total de una planta (\$) y su producción energética total (kWh/MWh) durante su vida útil y ciclo de trabajo” (Fraunhofer 2017:8). La firma Lazard (2016) establece que el LCOE de las plantas generadoras solares de gran escala o utilitarias (\$49 - 61 dólares por MWh) es levemente inferior al de plantas térmicas a carbón (\$60 - 143 dólares por MWh). Esto sin considerar costos externos atribuidos a las plantas a carbón lo que aumentaría significativamente el costo de estas últimas (Fraunhofer 2017). En relación a las aplicaciones solares comunes en

medios urbanos, el LCOE de los paneles fotovoltaicos para techos sigue siendo más alto (\$138 - 222 dólares por MWh) que el de plantas solares de gran escala.

En cuanto al impacto ambiental de las fuentes energéticas, la evaluación del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) es un análisis que busca estandarizar y comparar los impactos ambientales ocasionados durante toda la vida útil de las tecnologías energéticas (Vandevyvere y Stremke 2012). Las tecnologías fotovoltaicas poseen un menor impacto en cuanto a la emisión de GEI que cualquier otra fuente de generación eléctrica en base a combustibles fósiles (NREL 2013).

La disminución de los costos asociados a las tecnologías solares ha acelerado la construcción de grandes centrales de generación eléctrica basadas en paneles fotovoltaicos al igual que el proceso de masificación de la generación distribuida en ciudades de Chile^[6] (Escobar et al. 2015). Sin embargo, para que la penetración de las ERNC en las ciudades sea mayor se debe contemplar a la “totalidad de los sistemas energéticos urbanos, integrando el suministro energético con la demanda entre los diferentes sectores, mediante tecnologías inteligentes, una planificación rigurosa y decisiones holísticas” (IRENA 2016:6).

MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN URBANA

El consumo energético de una ciudad está íntimamente relacionado con el medio construido y las características particulares de éste. Considerar la trama urbana y su demanda energética como un sistema integrado que a su vez posee interrelaciones con el medio ambiente es, por lo tanto, esencial en el contexto de una ciudad solar (Vandevyvere y Stremke 2012).

Dentro del debate en torno a si las ciudades debiesen tender a expandirse o a densificarse (Grubler y Fisk 2013), Jenks y Dempsey (2005) argumentan que la compacidad es una característica fundamental para lograr ciudades sustentables. Ciudades densas reducen el consumo energético por habitante lo cual a su vez reduce su huella de

carbono (Lobaccaro y Frontini 2014). Un modelo de ciudad compacta sumada a un uso mixto del suelo, permiten lograr mejores niveles de accesibilidad de los residentes a bienes y servicios, planificar un sistema de transporte público basado en peatones y ciclistas y mejorar los espacios públicos (Grubler y Fisk 2013). En cuanto al consumo energético, ciudades compactas tienden a: mejorar los espacios públicos ya existentes, incrementar los usos mixtos de suelo, aumentar las opciones de viviendas, rehabilitar espacios urbanos deteriorados, mejorar el diseño de las calles, reducir distancias de viaje, permitir más modos de transporte y reducir la infraestructura requerida para el abastecimiento energético (Litman 2015; Wheeler 2013).

Los nuevos instrumentos de planificación urbana debiesen, por lo tanto, tender a evitar la expansión de las ciudades y, en cambio, fomentar la densificación y la compacidad en post de un menor uso y una mayor eficiencia energética (Lobaccaro y Frontini 2014). La decisión sobre que tecnología energética adoptar dependerá de la escala y el contexto de cada medio urbano (Vandevyvere y Stremke 2012), en el caso de Atacama es evidente que la opción de la energía solar es la más atractiva.

MOVILIDAD URBANA

La movilidad urbana tiene directa relación con la morfología y forma urbana. Se ha comprobado que en ciudades más densas el consumo energético por transporte es considerablemente menor que en ciudades expandidas debido a que en estas últimas el uso del automóvil es generalizado mientras que en las primeras las alternativas de transporte son variadas (Grubler y Fisk 2013; Jenks y Dempsey 2005). En ciudades expandidas la inversión en transporte y sus costos asociados son uno de los mayores desafíos de la planificación urbana.

Wheeler (2013) sostiene que proveer de medios de transportes variados tales como bicicletas, buses/taxis colectivos, metros/tranvías y buenos espacios para peatones es fundamental para pro-

mover un cambio en los hábitos de transporte locales. Lo anterior requiere ir acompañado de una serie de modificaciones al diseño, infraestructura y morfología urbana de tal forma de permitir la instalación y funcionamiento de un sistema de transporte integrado e innovador. Las decisiones de transporte de los ciudadanos se corresponden con las opciones que tienen dentro de su ciudad; proveer de un mejor sistema de transporte es, por tanto, esencial y responsabilidad tanto de las autoridades locales como del gobierno central a través de apoyo técnico y financiero (Grubler y Fisk 2013).

A modo de ejemplo, la capital danesa de Copenhague es una de las que presenta mayor cantidad de viajes internos realizados en bicicleta (45% de viajes al trabajo y estudio) en el mundo. Los factores que explican esta cifra son: “buena infraestructura para ciclistas, tiempo de viaje más cortos, mayor seguridad y percepción de la misma” (Municipalidad de Copenhague 2015: 4). Por otro lado, la electromovilidad es cada vez más común en países desarrollados, la ciudad Suiza de Zermatt, por ejemplo, utiliza solo pequeños buses eléctricos para la movilidad interna de la ciudad configurando un ambiente libre de autos y bajo en emisiones de CO2 (Zermatt Tourismus 2017)

A continuación, se desarrollarán cada uno de estos puntos en referencia a la realidad de la ciudad de Diego de Almagro y sus proyecciones futuras.

2. DIEGO DE ALMAGRO: CIUDAD SOLAR

La ciudad de Diego de Almagro se localiza en la cuenca del río Salado en mitad del desierto más árido del mundo; en específico, en el sector denominado pampa ondulada austral el cual se caracteriza por una baja a nula nubosidad y por una intensa radiación solar (Ortega et al. 2010).

La minería es la principal actividad económica de la ciudad y sus proyecciones de crecimiento están determinadas por el comportamiento de este sector en vista de los 33 proyectos que se encuentran aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) a la espera de un repunte en los precios de los metales (SEA 2016). La minería requiere de una gran cantidad de servicios, insumos y mano de obra, sin embargo, gran parte de estas necesidades son satisfechas con proveedores externos a la provincia produciendo un encadenamiento productivo moderado a nivel local (OCUC 2016). La excepción a esta situación es la pequeña minería, sector que produce la mayor cantidad de encadenamientos productivos a escala local.

En cuanto al sector energético, la comuna de Diego de Almagro ha sido testigo tácito de la instalación de 6 proyectos solares fotovoltaicos de gran envergadura (206,93 MW potencia bruta) (CNE 2017), los cuales no solo generan escasos puestos de trabajo (ver fig. 3), sino que también requieren de mano de obra especializada para el montaje de este tipo de estructuras. La figura 3 muestra la gran cantidad de proyectos solares aprobados por el SEA (20) además de la gran inversión monetaria y potencia proyectada en el supuesto de que el 100% de estos proyectos se materialicen.

PROYECTOS		Nº	INVERSIÓN (MMU\$)	POTENCIA PROYECTADA (MW)	EMPLEO			
					CONSTRUCCIÓN (1,4 AÑOS)	OPERACIÓN (28 AÑOS)	CIERRE (0,9 AÑOS)	
ENERGÍA GENERACIÓN	ERNC	APROBADAS	20	4460,4	2017,43	5160	245	2051
		EN CALIFICACIÓN	6	2605,2	607	2884	100	768
	CONVENCIONALES	APROBADAS	0	0	0	-	-	-
		EN CALIFICACIÓN	0	0	0	-	-	-

Figura 3. Proyectos energía aprobados y en calificación por el SEA

Fuente: SEA 2016; Elaboración: OCUC 2017

Bajo este contexto económico, la ciudad de Diego de Almagro depende exclusivamente de la actividad minera de pequeña y gran escala. Esta baja diversificación económica explica en parte el moderado crecimiento demográfico que ha tenido esta ciudad en comparación a otras ciudades de la región de Atacama^[7]. En el año 2002, Diego de Almagro tenía una población de 7.951 habitantes cifra que se elevó a 8.253 habitantes en el año 2012 con una variación inter-censal de 1% (INE 2016).

Pese a esto, Diego de Almagro es una ciudad con una serie de oportunidades asociadas a su potencial solar, el desarrollo de la pequeña y mediana minería, el turismo de intereses especiales, la agricultura urbana y los servicios asociados a la nueva industria solar. Estas potencialidades han sido en parte, tomadas en consideración por el programa de gobierno denominado “Programa de Energía Solar” el cual incluye como uno de sus proyectos estratégicos el denominado “Corredor Solar de la Cuenca del Salado”. Uno de los focos de este programa es la ciudad de Diego de Almagro donde se plantea establecer un modelo de ciudad solar que beneficie a sus habitantes y a la economía local. Las iniciativas propuestas se basan en tres aspectos: social, técnico y de economía local; mediante los cuales se busca proponer un “modelo de ciudad replicable” (Gobierno de Chile 2017).

HACIA UNA MATRIZ ENERGÉTICA SUSTENTABLE, DIEGO DE ALMAGRO:

Diego de Almagro es abastecido en un 100% por combustibles fósiles importados (gasolina, kerosene, petróleo y gas licuado) (SEC 2016). El gas

licuado, por ejemplo, es utilizado para calefacción y cocina y la única empresa que provee de este servicio es Abastible. No existe una red de gas natural, ni tampoco una penetración significativa de biomasa (SEC 2016). En este sentido, la ciudad queda expuesta a las constantes fluctuaciones y volatilidad de los mercados energéticos internacionales (Ortega et al. 2010). Además, se espera que los precios de estos *commodities* se eleven en el corto plazo, como el precio del petróleo el que pasaría de costar 49,7 USD/barril en el año 2015 a 70,8 USD/barril en el año 2025 (World Bank 2015).

Respecto al abastecimiento eléctrico, la empresa EMELAT es la única distribuidora de electricidad presente en la ciudad. Dicha empresa utiliza la electricidad proveniente del SIC y no existe en la actualidad una red eléctrica local o generación distribuida que abastezca de energía alternativa a la ciudad. EMELAT distribuye de electricidad a 3.073 clientes en Diego de Almagro los cuales cuentan con el beneficio de la denominada Ley de equidad tarifaria (Ley N° 20.928, año 2016). Esta ley busca reducir las diferencias tarifarias existentes entre territorios^[8], además de beneficiar directamente a las comunas donde se produzca energía eléctrica (CNE 2016). La comuna de Diego de Almagro es actualmente beneficiada por esta ley con una variación de -8,8%, lo cual se traducirá en una reducción en el costo de la electricidad para sus habitantes.

La figura 5 muestra el consumo eléctrico histórico en la ciudad de Diego de Almagro. Como se puede apreciar el sector residencial es el de mayor consumo (54% año 2016) seguido por el sector comercial (14,9% año 2016).

VARIACIÓN TOTAL ENTRE POBLACIÓN URBANA Y RURAL CENSOS 1982 - 2012. COMUNA DE CHAÑARAL Y DISTRITOS DE DIEGO DE ALMAGRO								
COMUNA	1982		1992		2002		2012	
	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL
CHAÑARAL	12.387	613	13.191	745	13.180	363	12.915	1.231
DIEGO DE ALMAGRO	25.808	393	25.947	1.568	17.674	915	15.497	955
D. DIEGO DE ALMAGRO	7.086	130	8.174	534	7.951	241	8.253	21
D. SALVADOR	13.360	46	12.058	71	9.723	22	7.244	598
D. POTRERILLOS	4.808	99	5.715	42	-	228	-	16
D. INCA DE ORO	554	124	-	921	-	424	-	320
TOTAL	38.195	1.006	39.138	2.313	30.854	1.278	28.412	2.186

Figura 4. Variación total entre población urbana y rural, provincia de Chañaral. Fuente: INE 2016; Elaboración: OCUC 2017

GWHE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	CAG R 2011- 2015
RESIDENCIAL	3.96	4.17	4.52	4.78	4.31	4.792	2.120%
COMERCIAL	0.95	1.06	1.19	1.26	1.14	1.316	4.630%
MINERÍA	0.67	0.38	0.27	0.39	0.47	0.515	-8.703%
FISCAL Y MUNICIPAL	0.44	0.46	0.41	0.43	0.40	0.454	-2.487%
INDUSTRIAL	1.01	0.93	0.95	1.03	0.85	0.857	-4.107%
ALUMBRADO PÚBLICO	0.80	0.91	0.85	1.06	0.67	0.877	-4.483%
TOTAL	7.84	7.91	8.19	8.96	7.83	8.81	-0.007%

Figura 5. Consumo eléctrico ciudad Diego de Almagro.
Fuente: Fraunhofer 2016; Elaboración: OCUC 2017

Tomando en consideración la relación entre demanda y generación eléctrica, en el año 2015 la región de Atacama generó el 6,52% (5.379 GWh) de la energía del país, y consumió solo el 1,91% (642 GWh); mientras que la RM generó tan solo el 4,54% (3.746 GWh), y consumió 45,42% (15.284 GWh) de la demanda nacional (CNE 2016). Se trata de un territorio que está produciendo energía baja en carbono, pero que no está siendo directamente beneficiada por la industria solar debido a la falta de empleos generados por este sector y la lenta penetración de tecnologías solares en ciudades y poblados.

La alta radiación solar presente en la ciudad de Diego de Almagro hace que la energía solar sea una buena alternativa para este medio urbano. En específico, se ha calculado que el desierto de Atacama tiene un promedio de radiación solar de 7-7,5 kWh/m²/día, un promedio de 2800 – 2600 kWh/m²/año de Radiación Global Horizontal^[9] (GHI por sus siglas en inglés) y un factor de planta para sistemas fotovoltaicos de más de 0,26^[10] (Parrado et al. 2016; MINENERGIA 2014). Diego de Almagro posee un factor de planta para sistemas FV fijos de 0,22 y con seguimiento de 0,28; y una GHI de 2.446 kWh/m²/año (MINENERGIA 2016). Estas características son ideales para la generación energética solar, lo que explica la explosiva instalación de plantas solares fotovoltaicas en la provincia de Chañaral. A partir del año 2013, cuando se instaló la planta Solar Esperanza de 2,87 MW, la energía solar ha crecido hasta representar el 49% (205,86 MW) de la potencia instalada en la provincia (CNE 2017).

Sin embargo, una de las formas propuestas para que Diego de Almagro se convierta en una ciudad solar es la adopción de una política de generación y consumo energético local en base a ERNC. Para lograr este objetivo, Diego de Almagro cuenta con múltiples opciones para aprovechar su principal fuente de energía renovable, el sol.

Una forma de abordar este desafío es mediante un esquema de generación distribuida, el cual incentiva la instalación de tecnologías renovables (eólicas, solares), aumenta la seguridad del sistema energético, incrementa la eficiencia energética y minimiza la necesidad de expandir el sistema de transmisión (Toledo et al. 2010). La generación distribuida contrasta con el actual sistema interconectado presente en Chile debido a que “el tamaño de los módulos de generación es menor, la ubicación es dispersa a lo largo de la ciudad, y los módulos son escalables” (Toledo et al. 2010: 507). De acuerdo a estos autores, los paneles fotovoltaicos son los que mejor se ajustan a un modelo escalable de generación distribuida. Grubler y Fisk (2013) argumentan que un sistema centralizado puede, de hecho, ser más riesgoso debido a que una falla en una parte del sistema puede afectar a toda la red. En cambio, sistemas energéticos basados en una generación local y que incorporen ERNCs aumentan la resiliencia del sistema al reducir riesgos, aumentar la eficiencia y reducir las emisiones de CO₂ relacionadas (Grubler y Fisk 2013).

En Chile la introducción de la ley de generación distribuida o net billing (Ley 20.571, año 2015) tiene como objetivo incentivar la instalación de

tecnologías de generación eléctrica en base a ERNC, donde los que ahora son clientes pueden convertirse en productores de electricidad mediante la instalación de paneles fotovoltaicos (SEC 2016). La energía utilizada para calefacción y cocina puede también ser generada en base a energía solar. El ministerio de energía de Chile ha incentivado la instalación de sistemas solares térmicos mediante la introducción de la Ley 20.365 la cual establece franquicia tributaria a la instalación de estos sistemas y su posterior modificación en el año 2016 (Ley 20.897) la que ratifica esta franquicia tributaria e incluye un subsidio directo para la adquisición de estos sistemas en viviendas sociales nuevas (Programa Solar 2017).

Valiéndose de la ley de generación distribuida y en base a recursos económicos destinados por el Ministerio de Vivienda de Chile, el Municipio de Diego de Almagro distribuyó más de 400 subsidios para la instalación de paneles fotovoltaicos y sistemas solares térmicos en viviendas afectadas por el aluvión del año 2015. Esta iniciativa no solo ilustra la voluntad política que existe en la comuna, sino que también aumenta considerablemente la penetración de estas tecnologías en la escala urbana.

MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO URBANO: DIEGO DE ALMAGRO

La ciudad de Diego de Almagro posee aproximadamente 145 ha de superficie edificada lo cual equivale a una densidad de 57 hab/ha (MINVU 2017), densidad equivalente a la de ciudades de europeas, mayor a la de ciudades de Estados Unidos^[11] y menor a ciudades más compactas de Asia^[12] (Litman 2015). Si la capacidad de aprovechamiento de la energía solar depende en gran medida de la forma y la estructura urbana (Kammen y Sunter 2016) transformar Diego de Almagro en una ciudad solar debe tener en consideración su compactidad, las características de sus viviendas y edificios y la forma de sus calles. En este sentido, el Observatorio de Ciudades UC (OCUC) definió tres escenarios de crecimiento en el contexto del plan de reconstrucción, logrando un buen consenso en

torno al escenario más compacto (A) (figura 6).

Específicamente, Diego de Almagro se caracteriza por la prevalencia de viviendas, comercios y edificios públicos de 1-2 pisos con lo cual el efecto negativo de las sombras no afectaría el correcto funcionamiento de paneles solares en esta ciudad. En cuanto a la materialidad de las viviendas, existen sectores de la ciudad en donde las estructuras y techos deben ser debidamente evaluados para determinar si son capaces de soportar la instalación de paneles fotovoltaicos y paneles térmicos. Los comercios y equipamientos (ver figura 6), localizados principalmente sobre dos avenidas (Av.Matta y Av. Diego de Almagro), son lugares en donde la instalación de tecnología solar haría más sentido económico debido a que utilizan más energía durante el día.

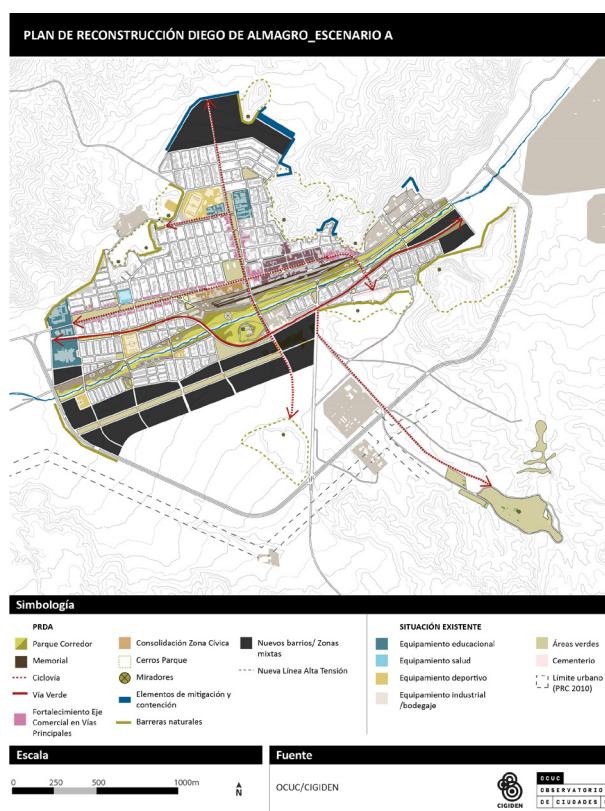


Figura 6. Equipamiento Urbano y plan de expansión A, Diego de Almagro. Elaboración: OCUC 2017

Por otro lado, Diego de Almagro es una ciudad deficitaria en cuanto a la cantidad y calidad de sus áreas verdes situación esperable en una ciudad localizada en mitad de uno de las zonas desérticas más áridas del mundo, pero que es motivo de preocupación si lo que se espera es un mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. En concreto, la ciudad posee un promedio de 1,7 m² de áreas verdes por habitante, cifra inferior al promedio nacional 4 m² por habitante y muy inferior a los 9 m² por habitante que han sido considerados como referencia. La energía solar permitiría, en este sentido, optimizar el uso de la poca agua disponible y posibilitar su distribución eficiente a través de tecnologías especialmente diseñadas para estos fines.

MOVILIDAD EN DIEGO DE ALMAGRO:

De acuerdo con la memoria explicativa del plan regulador de Diego de Almagro, las estructuras viales de la ciudad están sobredimensionadas para el flujo de vehículos de la ciudad. Este hecho supone una oportunidad para el rediseño de sus calles contemplando usos mixtos de transporte (Wheeler 2013). Otra problemática de la estructura vial de la ciudad es que la única vía (Av. Matta/C-13) que conecta Diego de Almagro con el resto de la provincia (Chañaral hacia el Oeste y El Salvador/Potrerillos hacia el Este) es, a la vez, una de las vías principales para el paso de camiones relacionados a la actividad minera e industrial de la provincia, lo cual implica un permanente riesgo para la población. Se detecta además una falta de conectividad entre la zona sur y las zonas centro y norte de la ciudad, las que concentran mayor cantidad de equipamientos y servicios. Esta situación es aún más grave en el caso del barrio de emergencia construido después del aluvión del año 2015, el cual se localiza en una zona aislada de la ciudad con bajos niveles de urbanización y alta incertidumbre respecto de su proyección (ver figura 6).

El transporte público en la ciudad de Diego de Almagro es precario y se remite a taxis básicos (108), colectivos (21), y esporádicos buses interur-

banos (51) que conectan la ciudad con otros centros poblados de la provincia y la región (INE 2015). Los automóviles particulares, en tanto, constituyen más del 60% del total del parque vehicular de la ciudad seguida por las camionetas que son el 20% del total (INE 2015). Esta falta de conectividad afecta las oportunidades laborales y de estudio de los habitantes de Diego de Almagro.

Para promover un sistema de transporte integrado, sustentable, de menor consumo energético y menos dependiente de combustible fósiles se requiere analizar las diferentes opciones que tiene Diego de Almagro. En primer lugar, la ciudad presenta características de tamaño y relieve ideales para la masificación de la bicicleta como medio de transporte^[13]. El uso de la bicicleta no solo tiene beneficios desde el punto de vista medio ambiental, sino que también mejora la calidad de vida de quienes utilizan este medio de transporte ya que se reducen gastos económicos, se mejora la salud y se disfruta más del entorno (Spencer et al. 2014). Su masificación dependerá, por una parte, de que las condiciones de seguridad para los ciclistas estén dadas sobre todo en cuanto a su interacción con vehículos motorizados (Spencer et al. 2014) y por otra parte de que la construcción de ciclovia contemple sistemas de sombreadero que eviten la explosión a la alta radiación solar presente en Diego de Almagro.

Otras medidas para el transporte de Diego de Almagro es la incorporación de vehículos eléctricos que puedan reemplazar al sistema de taxis colectivos y taxis básicos que opera actualmente en la ciudad. Esta iniciativa puede ser concretada gracias a que los costos de las baterías, su principal y más costosa parte, han bajado considerablemente de precio (Nykvist y Nilsson 2015). De acuerdo a estos autores, los precios de las baterías han disminuido en promedio un 14% anual entre el periodo 2007-2014, pasando de costar US\$ 1.000 por kWh a US\$ 410 por kWh.

Un sistema de transporte urbano que combine diferentes medios de movilización es considerado por los expertos como la mejor solución para las

ciudades (Spencer et al. 2014; Wheeler 2013; IRENA 2016). En el contexto de Diego de Almagro es una alternativa relativamente rápida de implementar, que no implicaría mayores cambios estructurales en las vías de la ciudad y con un costo menor que otras alternativas tales como tranvías o trenes.

En la actualidad Chile no cuenta con un marco normativo tendiente a configurar un transporte público eficiente, innovador o sustentable ni tampoco cuenta con una política nacional de transporte que incorpore elementos de sustentabilidad en la provisión de sistemas de transporte público. Por otro lado, la relación entre transporte y energía solar es relativamente reciente y se ha mantenido en etapas de prueba. Implementar un sistema que conjugue ambos elementos representaría una experiencia pionera a nivel mundial y ciertamente representaría un modelo a seguir para muchas ciudades chilenas intermedias que se ven afectadas por problemas similares (Newman et al. 2009).

CONCLUSIONES

La implementación de una ciudad solar es posible dado al actual nivel de desarrollo de las tecnologías solares, y los conocimientos prácticos que se tienen acerca de su funcionamiento. Mediante una planificación urbana sustentable es posible integrar dispositivos tecnológicos renovables dentro un esquema de desarrollo urbano integral que incluya el mejoramiento de los espacios públicos, la provisión de medios de transporte eficiente y amigable y el desarrollo de viviendas de mejor calidad y menos consumo energético. Sin embargo, existen escasos ejemplos de ciudades que hayan implementado cada una de estas variables en forma integrada. Esta falta de experiencia internacional hace que la aplicación para el caso chileno sea por un lado novedosa, pero, por otro lado, más dificultosa en cuanto a la falta de expertos en la materia, de desarrollo de tecnologías solares urbanas de menor costo y de referentes internacionales que comprueben la factibilidad de un modelo de ciudad solar.

En Chile, aplicaciones de energía solar en contextos urbanos se han reducido a subsidios estata-

les para proveer de paneles solares fotovoltaicos y térmicos en viviendas; programa de techos solares para edificios públicos; y leyes tales como la de generación distribuida. En tanto, no existe a la fecha iniciativas urbanas integrales basadas en el aprovechamiento del recurso de la radiación solar, tanto desde la implementación masiva de tecnologías como desde las estrategias de planificación y diseño urbano. La existencia de iniciativas aisladas, como las ya mencionadas, no contribuyen a generar las instancias de colaboración intersectoriales necesarias para configurar una planificación urbana que tome en consideración el conjunto de necesidades de la población local.

La ciudad de Diego de Almagro posee característica de radiación solar únicas que se suman a las necesidades de mejoras urbanas demandadas por la población local. Esta situación representa una oportunidad de poder implementar la primera ciudad solar de Chile. Sin embargo, se ha comprobado que el denominado “boom solar” se ha restringido a la construcción de granjas solares que otorgan pocos beneficios locales en términos de empleo. Por otro lado, existe una falta de proyectos urbanos de gran escala que, empleando tecnologías solares, mejoren la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

Pese a esto, el municipio de Diego de Almagro se ha mostrado muy activo en cuanto a la inclusión de tecnologías solares dentro del contexto urbano concretando diferentes iniciativas. Se observa que las autoridades locales tienen la disposición para emprender desafíos urbanos y energéticos complejos. Asumiendo que uno de los mayores desafíos está relacionado con la capacidad de implementar una estrategia de involucramiento comunitario que permita desarrollar una verdadera “cultura solar”, más allá del uso de artefactos o *gadgets* solares. Esta voluntad política presente en Diego de Almagro es considerada por Heinrich et al. (2013) como clave para comenzar una iniciativa de estas características, por cuanto el municipio tiene conocimiento de las necesidades y realidad local que actores externos no poseen.

Por último, la masificación de tecnologías solares y la implementación de una planificación urbana sustentable supone desafíos de gran complejidad para municipios como los de Diego de Almagro. Esto debido a que los ajustados presupuestos municipales fuerzan a priorizar proyectos que tengan una mayor demanda popular. En este sentido, la aceptación social de estas medidas dependerá de que estas estrategias tomen en consideración las demandas locales y que los periodos de retorno de estas inversiones sean inferiores al de los ciclos políticos.¶

NOTAS

- [1] En cuanto a las emisiones per cápita, Chile emite 4,7 toneladas métricas de CO₂ por persona, cifra inferior al promedio de los países de la OECD (9,7), inferior al promedio de países de altos ingresos (11), pero superior al promedio de Latinoamérica y el Caribe (3) (World Bank 2016).
- [2] Se refiere a la cantidad total de radiación de onda corta recibida desde el sol por una superficie horizontal al suelo. Es la suma entre la radiación directa y la radiación difusa (NREL 2016).
- [3] La ciudad de Friburgo, Alemania posee rangos de irradiación solar de entre 1100 a 1200 kWh/m²/año y posee 13.000 m² de paneles fotovoltaicos (C40, 2011).
- [4] De acuerdo a NREL (2013), los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica emiten en promedio 40 g CO₂ eq/kWh durante su ciclo de vida. Una planta a carbón en cambio, emite en promedio 1.000 g CO₂ eq/kWh durante su ciclo de vida.
- [5] El costo de los paneles fotovoltaicos ha disminuido desde \$101,05 dólares por watt en el año 1975 a \$0,55 por watt en el año 2015, situación que derivó en un aumento en las instalaciones de los mismos pasando de 5,1 GW de potencia instalada en el año 2005 a 227 GW en el año 2015 (REN21, 2016).
- [6] En el año 2012 no existía ninguna planta de generación eléctrica solar, actualmente en el año 2017 la potencia instalada de matriz eléctrica de Chile se compone en un 7,19% o 1.652,75 MW por energía fotovoltaica (CNE 2017).
- [7] Según datos del INE entre los periodos censales de 2002 y 2012: Copiapó creció en un 23%, Caldera 18% Huasco 13% y Vallenar 8%.
- [8] Por ejemplo, en la ciudad de Santiago la tarifa promedio es de \$19.344 mientras que en la ciudad de Linares es de \$36.159 (CNE 2016).
- [9] La Radiación Global Horizontal es la suma entre la radiación directa normal y la radiación difusa horizontal (NREL 2016).
- [10] En Alemania el promedio de la radiación solar es de 1000 – 1200 kWh/m²/año (solargis 2017), en tanto la penetración de la energía solar ha sido importante representando el 7,5% de la generación neta de electricidad.
- [11] Densidad de ciudades de Estados Unidos es de menos de 40 personas/ha (Litman 2015).
- [12] Densidad de ciudades de Asia: Ej. Beijing +100 personas/ha; Shangai 200 personas/ha; Hong Kong +300 personas/ha (Litman 2015).
- [13] En la actualidad la ciudad cuenta con una ciclovía de alto estándar ubicada en la avenida Diego de Almagro. Este proyecto fue concretado gracias a fondos regionales en conjunto con la SECPLA de la municipalidad de Diego de Almagro y es el primero de una serie de iniciativas tendientes a expandir la red de ciclovías por toda la ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian Government (2013). The solar cities program - the journey, final report of the lessons and highlights of the solar cities program. Department of resources, energy and tourism.
- Beatley, T. (2007). Envisioning solar cities: urban futures powered by sustainable energy. *Journal of Urban Technology*, 14(2), 31-46.
- Burr, J. y Hallock, L. (2015). Shining Cities Harnessing the Benefits of Solar Energy in America: Frontier Group.
- C40 Cities. (2011). Freiburg - An Inspirational City Powered by Solar, Where a Third of all Journeys are by Bike. Visto en: http://www.c40.org/case_studies/freiburg-an-inspirational-city-powered-by-solar-where-a-third

- of-all-journeys-are-by-bike.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2014). Balance nacional de energía. Visto en: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>
- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2017). Capacidad Instalada. Visto en: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>
- Escobar, R. A., Cortés, C., Pino, A., Salgado, M., Pereira, E. B., Martins, F. R., y Cardemil, J. M. (2015). Estimating the potential for solar energy utilization in Chile by satellite-derived data and ground station measurements. *Solar Energy*, 121, 139-151.
- Fraunhofer. (2017). Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Freiburg, Alemania.
- Gobierno de Chile. (2017). Programa Estratégico Solar. Santiago, Chile
- Grubler, A., y Fisk, D. (2013). Energizing sustainable cities: assessing urban energy. New York, EE.UU: Routledge.
- Heinrichs, D., Krellenberg, K., y Fragkias, M. (2013). Urban responses to climate change: Theories and governance practice in cities of the global South. *International Journal of Urban and Regional Research*, 37(6), 1865-1878.
- Herring, H. (2006). Energy efficiency—a critical view. *Energy*, 31(1), 10-20.
- Hoffmann, A. y Armesto, J. (2014). Ecología del Agua. Santiago, Chile: Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). Anuarios parque de vehículos en circulación. Visto en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parquevehiculos.php
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). Productos estadísticos: demográficos y vitales. Visto en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/Demograficas_vitales.php
- International Energy Agency (IEA). (2016). Energy efficiency indicators. Paris, Francia: IEA.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). *Renewable Energy in Cities*. Abu Dhabi: IRENA.
- Jenk, M y Dempsey, N. (2005). *Future forms and design for sustainable cities*. Oxford, Inglaterra: Routledge.
- Kammen, D. M., y Sunter, D. A. (2016). City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science*, 352(6288), 922-928.
- Lazard. (2016). Levelized Cost of Energy Analysis 10.0. Visto en: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-analysis-100/>
- Litman, T. (2015). Determining Optimal Urban Expansion, Population and Vehicle Density, and Housing Types for Rapidly Growing Cities. Victoria Transport Policy Institute.
- Lobaccaro, G., y Frontini, F. (2014). Solar energy in urban environment: how urban densification affects existing buildings. *Energy Procedia*, 48, 1559-1569.
- McDonnell, M. J., y MacGregor-Fors, I. (2016). The ecological future of cities. *Science*, 352(6288), 936-938.
- Ministerio de Energía. (2016). *Energía 2050, Política energética de Chile. Principales metas 2035-2050*. Santiago, Chile. Ministerio de Energía.
- Ministerio de Energía. (2016). Explorador de energía solar. Visto en: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). (2016). Segundo informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. Santiago, Chile. MMA.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2017). Datos de la ciudad de Diego de Almagro. Visto en: <http://www.observatoriourbano.cl/indurb/ciudades>.
- Municipalidad de Copenhague. (2014). Copenhague ciudad de ciclistas, el conteo de la bicicleta 2014. Copenhague, Dinamarca.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2013). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation*. Denver, EE.UU. NREL
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2016). *Glossary of Solar Radiation Resource Terms*. Visto en: http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/gloss_g.html
- New Scientist. (2011). The sun is our only truly renewable energy source. Visto en: <https://www.newscientist.com/article/mg21028062-500-the-sun-is-our-only-truly-renewable-energy-source/>
- Newman, P., Beatley, T., y Boyer, H. (2009). *Resilient cities:*

- responding to peak oil and climate change. Island Press.
- Nykvist, B., y Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5(4), 329-332.
- Observatorio de Ciudades UC. (2016). Programa de Reactivación Urbana y Productiva Sustentable de Atacama, Corredor Solar. Santiago, Chile.
- Ortega, A., Escobar, R., Colle, S., y De Abreu, S. L. (2010). The state of solar energy resource assessment in Chile. *Renewable Energy*, 35(11), 2514-2524.
- Parrado, C., Girard, A., Simon, F., y Fuentealba, E. (2016). 2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) projection for a hybrid PV (photovoltaic)-CSP (concentrated solar power) plant in the Atacama Desert, Chile. *Energy*, 94, 422-430.
- Programa Solar. (2017). Franquicia Tributaria Para Colectores Solares Térmicos (CST)
- REN21. (2016). Renewables 2016: Global status report. Paris, Francia. REN21
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2016). Búsqueda de proyectos. Visto en: <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>
- Silva, C., y Nasirov, S. (2017). Chile: Paving the way for sustainable energy planning. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(1), 56-62.
- Solangi, K. H., Islam, M. R., Saidur, R., Rahim, N. A., y Fayaz, H. (2011). A review on global solar energy policy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(4), 2149-2163.
- SolarGIS. (2014). Global Horizontal Irradiation, Chile Mainlands. Visto en: <http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/SolarGIS-Chile-GHI-solar-resource-map-en.png>.
- Spencer, P., Watts, R., Vivanco, L., Kaza, S., y Farley, J. (2014). Bicycles, Transportation Sustainability, and Quality of Life (No. TRC Report 14-001).
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). (2016). Informe Estadístico. Visto en: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,3429539_y_dad=portaly_schema=PORTAL
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). (2016). Genera tu propia energía. Visto en: <http://www.sec.cl/portal>
- Toledo, O. M., Oliveira Filho, D., y Diniz, A. S. A. C. (2010). Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 506-511.
- Vandevyvere, H., y Stremke, S. (2012). Urban planning for a renewable energy future: methodological challenges and opportunities from a design perspective. *Sustainability*, 4(6), 1309-1328.
- Wheeler, S. M. (2013). Planning for sustainability: creating livable, equitable and ecological communities. Oxford, Inglaterra: Routledge.
- World Bank. (2016). Urban Population. Visto en: <http://data.worldbank.org/indicator/>
- World Bank. (2017), CO2 emissions. Visto en: <http://data.worldbank.org/indicator/>
- Zermatt Tourismus (2017), Zermatt is car-free, visto en: <https://www.zermatt.ch/en/arrival/Autofrei-GEX-MTT/Zermatt-is-car-free>.