

The English version of this report has been machine translated from Spanish.



**NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO**  
Postgraduate in Industrial Design

Design of a product-service system for the mass domestic adoption of  
interconnected photovoltaic microsystems

**Research Article Publication Report**

That to opt for the degree of Master in Industrial Design presents:

**Luis Lopez Martinelli**

Tutor Committee  
Dr. Juan Carlos Ortiz, Mtra. Sandra Molina and Dr. Vicente Borja

Synods  
Dr. Karla Cedano and Mtra. Vanessa Sattele

August 2022, Mexico City.

## 1. Summary

In the face of the climate crisis, it is urgent to accelerate the spread of renewable energy. Photovoltaic energy has very low adoption among small-scale domestic users in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (ZMVM). There are no options that generate enough motivation for home users to massively adopt photovoltaic energy.

Based on the analysis of the motivators of user adoption, this study proposes an undertaking that promotes the design of a product-service system based on a photovoltaic microsystem interconnected to the Plug-n-Play electricity grid (mSFVI-PnP) that responds to the motivators of domestic users in tariff 1 with surplus consumption for mass adoption in the ZMVM.

Distributed photovoltaic energy responds equitably to the energy trilemma, improving sustainability, equity and energy security. It improves sustainability by having a life cycle analysis at least an order of magnitude lower than fossil-sourced electricity and by not generating polluting emissions during its operation. It improves equity by lowering the cost of electricity for a segment of the population most likely to face an excessive energy cost. Finally, it improves energy security by decreasing the demand for fossil fuels and the high exposure that these have Mexico to variations in foreign supply chains.

The legislation in force in Mexico allows the mSFVI-PnP to be interconnected to the electricity grid in a *net-metering* scheme fundamental for its profitability and the displacement of the kilowatt-hour or *kilowatt-hour* (kWh) consumed in surplus tariff. There are some examples of mSFVI-PnP that do not generate enough motivation for their mass adoption in the ZMVM due to their high cost or difficulty of use.

Therefore, an affordable and very easy to use mSFVI-PnP is proposed through the incorporation of a new agent in the system map, the solar enabler, a direct delivery scheme on the roof and the design of an mSFVI-PnP that seeks the greatest feasible reduction in costs along with an installation that can be done in minutes and without tools.

## Table of Contents

1.	Summary.....	2
2.	Introduction .....	5
2.1.	Object of study and units of analysis .....	6
2.2.	Problem statement .....	6
2.3.	General objective.....	7
2.4.	Particular objective .....	7
3.	Background, Justification, Social Impact and Scope.....	7
3.1.	Background and Justification.....	7
3.2.	Impact social and alcance.....	Error! Bookmark not defined.
4.	Research Framework.....	11
4.1.	Political-regulatory framework .....	11
4.2.	Framework of interconnected photovoltaic technology .....	14
4.3.	State of the art.....	23
5.	Edges and Contributions to the Research of Published Articles.....	28
5.1.	Originate from the design through the emprendimiento social .....	28
5.2.	SFVI Adoption Motivators .....	29
5.3.	Best practices to mitigate the socio-environmental impact of an SFVI ....	29
6.	Design Development.....	30
6.1.	Defining the target end user .....	30
6.2.	User experience in paying for electricity .....	35
6.3.	Product-service system design .....	37
6.4.	Participatory design workshop with experts.....	58
6.5.	Rooftop delivery.....	64
6.6.	Lightweight or modular design .....	69
6.7.	mSFVI-PnP Design .....	71
6.7.1.	License .....	81

6.8.	Level of technological maturity .....	82
6.9.	Digital repository.....	83
7.	Contributions.....	83
8.	Conclusions .....	84
8.1.	Future research and development.....	84
9.	Thanks .....	85
10.	Academic Articles .....	85
10.1.	Design sets the table: coining Design agency through social entrepreneurship.....	86
10.2.	Drivers of residential adoption of interconnected photovoltaic systems in the global south	95
10.3.	Best practices to mitigate the socio-environmental impact of GTPV .....	102
11.	Bibliography Cited .....	116
12.	Glossary.....	120
13.	Annexes .....	121
13.1.	<i>Design Brief</i> .....	121

## 2. Introduction

This report presents the development of the research and the different angles that comprise it, some of which are reflected in three published papers in journals indexed by Latindex, as presented below:

Lopez Martinelli, L. (2021). Design sets the table: Coining Design agency through social entrepreneurship. *RChD: Creation and Thought*, 6, 1-8. <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2021.60890>

López Martinelli, L., & Ortiz Nicolás, J. (2021). Motivators of Residential Adoption of Interconnected Photovoltaic Systems in the Global South. *Renewable Energy and the Environment*, 47, 27–33.

López Martinelli, L., & Manzini, F. (2022). Best Practices to Mitigate the Socio-environmental Impact of Interconnected Photovoltaic Systems. *Latin America and the Caribbean Energy Review*, 6, 8-20.

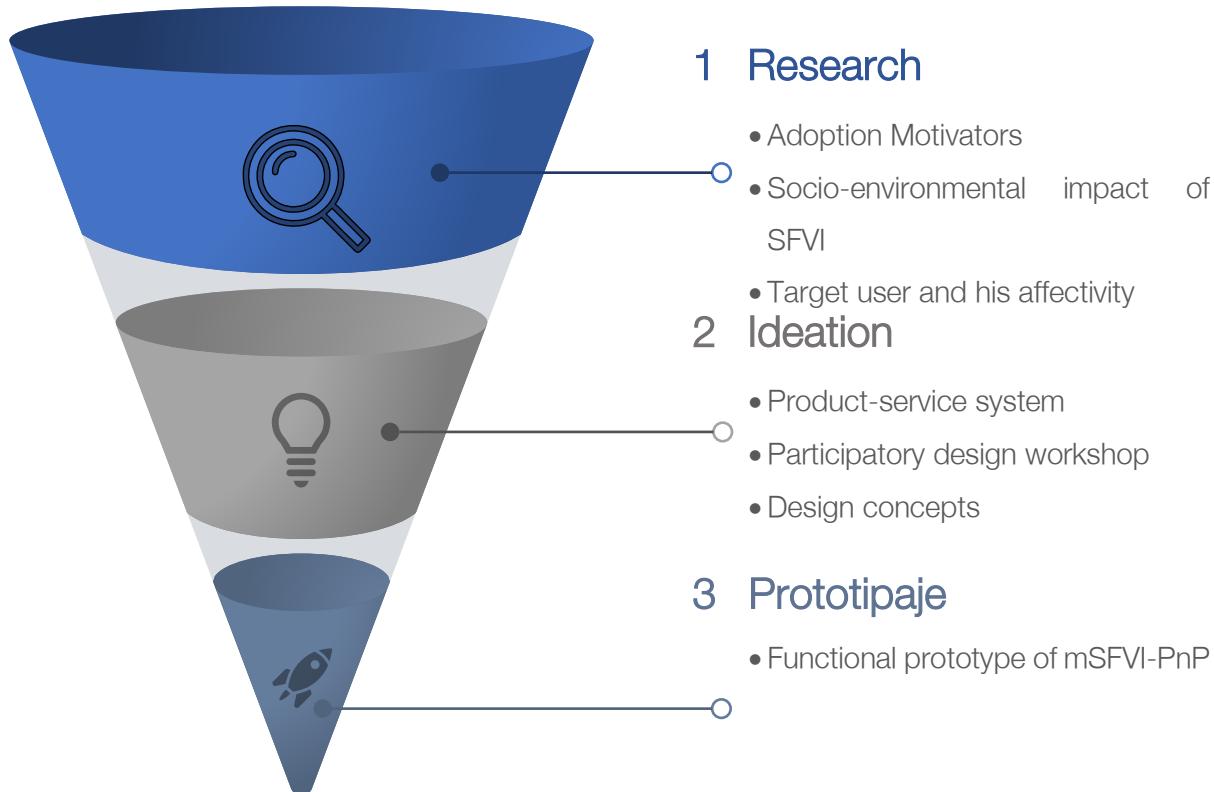


Figure 1. Stages of the research project

The project and its components follow the three stages presented in Figure 1. The methodology used in each component can be consulted in the respective section of each component.

## 2.1. Object of study and units of analysis

The object of the research is the design of a product-service system based on a photovoltaic microsystem interconnected to the plug-and-play network (mSFVI-PnP) that responds to the motivators, to be identified, of domestic users in tariff 1 with surplus consumption for mass adoption in the metropolitan area of the Valley of Mexico (ZMVM).

## 2.2. Problem statement

In the face of the climate crisis, worldwide we are looking to increase the use of renewable energies as one of the tools to reduce our carbon footprint. This has unleashed incentive policies and technological development, however, the penetration of grid-interconnected photovoltaic (SFVI) systems remains low.

The low diffusion of SFVI has multifactorial roots. There is a body of literature that addresses the factors, conditions and characteristics that influence the adoption of domestic photovoltaics. In a meta-analysis, Karakaya and Sriwannawit (2015) identify socio-technical, business, regulatory and economic barriers to adoption, so they conclude that the adoption of photovoltaic energy is still a challenging process. The perception of complexity, high cost and the lack of adequate solutions to the target market are the main causes of low adoption. It follows from this context that the home user does not have sufficient motivation to massively adopt photovoltaic energy in the ZMVM.

The adoption of SFVI in Mexico is concentrated in unsubsidized tariffs. Around these segments there is a buoyant industry of installers, equipment manufacturers and financiers, taking advantage of the profitability provided by economies of scale.

In contrast to the target user of this research, which cumulatively represents one million homes<sup>1</sup> in the ZMVM with a bimonthly electricity consumption greater than \$500 pesos, the options for adopting photovoltaic energy are scarce and complex for the end user.

---

<sup>1</sup> Own elaboration based on the ENCEVI of the INEGI (2018b) and CFE Open Data (2018).

### 2.3. General objective

Design a product-service system based on an mSFVI-PnP that responds to the motivators of the domestic user with surplus consumption for its potential mass adoption in the ZMVM.

### 2.4. Particular objective

1: Analyze the SFVI adoption motivators of users in domestic tariff 1 with surplus consumption

2: Design a product-service system based on an mSFVI-PnP that responds to the motivators of the domestic user with surplus consumption for its potential mass adoption in the ZMVM

## 3. Background, Justification, Social Impact and Scope

### 3.1. Background and Justification

Climate change is the biggest challenge facing humanity (Figueres, 2014). The climate crisis threatens the human rights framework by hindering access to basic services such as water, housing, food and security. As an aggrieving, its effects have a disproportionate burden on the most vulnerable communities and gender impact.

In Mexico, current sources of electricity are not sustainable. At a minimum, the Mexican energy matrix requires doubling the current share of renewable sources to address climate change and comply with the Paris agreement of the United Nations and ratified by Mexico in 2016. To comply with the agreement, greenhouse gas emissions globally must be reduced by 50% by 2030 globally. In this sense, the complexity, breadth and gravity make the climate crisis the greatest challenge facing humanity; and at the same time a great opportunity for change (Costas et al., 2017).

Electricity generation in Mexico has a great opportunity in photovoltaic energy. Although its territory has a high rate of solar radiation (Limón Portillo, 2017), almost all electricity is generated with fossil fuels. There is a route to climate action through solutions that are born from a deep understanding of the needs and motivators of the target user, achieving an alternative of extreme usability, desirability and utility (cost-accessibility and cost-benefit) in the terms of Buchanan (2001).

The domestic user, with the exception of the domestic tariff of consumption without subsidy (DACP), does not have enough motivation for the mass adoption of photovoltaic energy in the metropolitan area of the Valley of Mexico (ZMVM). This problem manifests itself in multiple

ways. From the symptomatic point of view, because the diffusion of photovoltaic technology in domestic users in tariff 1 is practically non-existent. From the diagnostic point of view, because the adoption needs and motivators focused on the target user segment, has not been a problem studied by academia or successfully addressed by the industry. That is, no solutions have been generated that explicitly seek to satisfy the relevant motivators for the target user.

Therefore, this research seeks to provide user-centered solutions based on the analysis of their motivators, contributing a new approach to the adoption of photovoltaic technology.

Product-service systems (SPS) are well positioned to seek to solve the needs and motivators of users in complex systems. They use strategic design to form a mix of products, services and business models that, through innovative interactions between stakeholders, manage to solve the needs of the user. Additionally, Vezzoli et al. point out that responsibility during the life cycle of the product-service can be maintained with the supplier, in such a way that its economic interest encourages the permanence of user satisfaction (2018). Therefore, the SPS usually cover the four basic elements that impact the experience described by Ortiz Nicolás (2019): the user, the interaction, the artifact and the context.

In practical terms, this research seeks to enable millions of people to their first access to distributed photovoltaic energy, complementing the supply of electricity they obtain from the Federal Electricity Commission (CFE) and achieving economic savings, a healthier and more sustainable life.

### 3.2. Social impact and reach

The social impact of this study is broad and multifaceted. Access to electricity is established within the framework of human rights and the 7th UN Sustainable Development Goal. Currently, 98.92% of the Mexican population has access to electricity through the CFE grid<sup>2</sup>. However, 89% of the energy produced in the country comes from fossil sources<sup>3</sup>. These generate as a by-product greenhouse gases that cause climate change. As discussed above, the climate crisis threatens the human rights framework by hindering access to basic services such as water, housing, food and security. As an aggravator, its effects have a disproportionate burden on the most vulnerable communities and gender impact, and therefore, the climate crisis affects the rest of the 16 sustainable development goals. Relying mostly on fossil

---

<sup>2</sup> Cfe open data: Electrification by Federative Entity. Data from 2019.

<sup>3</sup> Energy Information System, SENER. Data from 2017.

sources, the Mexican state ensures the right to access electricity at the expense of other human rights. This can be mitigated with an energy transition to renewable sources, such as photovoltaics, which improves the balance of the country's *Energy Trilemma*.

The *Energy Trilemma* of the World Energy Council (2021) in Figure 2, makes it clear that the satisfaction of the right to access to energy is carried out in a balance sheet and that it should not focus exclusively on efficiency, but should also consider energy justice.

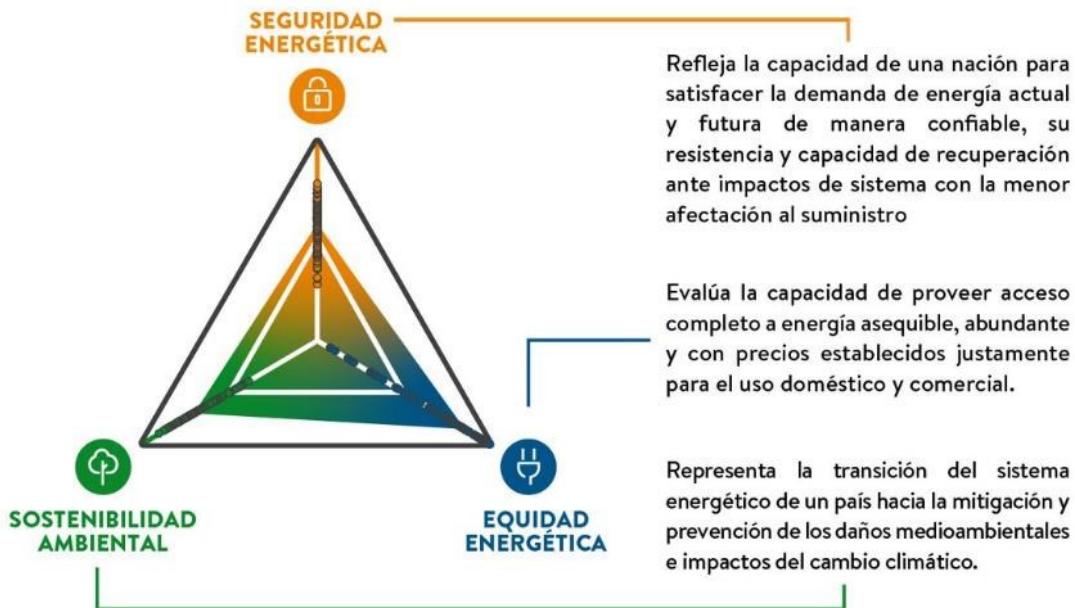


Figure 2. Energy Trilemma. Source: World Energy Council, 2021

Renewables contribute to energy security by decreasing the demand for fossil fuels to the volatility of international hydrocarbon prices. "More than 60% of Mexico's energy generation depends on natural gas used by combined cycle plants and about 70% of that consumption is covered by imports from the United States" (Cullell, 2021). In contrast to thermoelectric plants that operate by burning fossil fuels, photovoltaic energy does not require a consumable fuel for electricity generation, so dependence on foreign supply chains is limited to inputs for manufacturing and maintenance or to the specific moment of the procuratorate of the components., thus also increasing the country's energy sovereignty. The distributed nature of photovoltaic energy increases the resilience of the electricity system, decreases the need for investment in infrastructure related to centralized electricity generation and transmission losses.

As for environmental sustainability, although photovoltaic energy does not emit atmospheric pollutants in its operation, it is important to recognize that the extraction, production, distribution and disposal of its components does pollute. To put the pollution caused by an SFVI in context, NREL estimates that the cradle-to-grave life cycle footprint of photovoltaics is between 10 and 20 times smaller than the footprint of thermoelectric plants operating on natural gas and coal, respectively (2012).

In contrast, thermoelectric electricity generated with fossil fuels pollutes in extraction, production, distribution, disposal and characteristically in its operation. Illustratively, it is estimated that the operation of the Tula thermoelectric plant contributes more than 50% of the sulfur dioxide pollution of the ZMVM (*Thermoelectric in Tula affects the air quality of the Megalopolis, OCCA, 2020*). Due to poor air quality, the National Institute of Ecology and Climate Change (INECC) estimates that in the central area of the country there were more than 40,000 premature deaths due to exposure to air pollution in 2015 and this entails a high cost to society. "Considering that the Central Region contributed about 35% of the national GDP... the improvement in air quality could represent between 0.4% and 3.1% of the region's GDP" (2020, p. 55). At the national level, Horacio Riojas Rodríguez, director of Environmental Health at the National Institute of Public Health, states that "premature deaths related to air quality represent 6.8 percent of total deaths nationwide and are the ninth risk factor for death" (*Due to air pollution, 48,000 Mexicans die prematurely each year, 2020*). Therefore, replacing the electricity generation of thermoelectric plants that contribute significantly to air pollution and health impacts, generates a positive social impact.

Regarding energy equity, according to Vezzoli et al., extending access to photovoltaic energy to contexts of lower economic income, increases social cohesion and equity (2018), managing to take their savings directly to segments of the population that dedicate a greater part of their income to cover the cost of the electricity they consume. Indeed, homes with surplus rates in the ZMVM are 69% more likely to be in energy poverty following the 2M methodology<sup>4</sup>, which is a "standard and simple metric that reflects households that have an excessively high cost of energy in relation to their income" (Rademaekers et al., 2016).

Unfortunately, the government's effort to boost energy equity in the domestic sector is flawed. As Proposed by Scott, the generalized subsidy to the consumption of domestic electricity has a regressive effect by concentrating its use in the highest income groups (2011,

---

<sup>4</sup> Own elaboration based on the ENIGH (2018).

pp. 8, 17) so it represents a high cost to the nation. The artificial reduction of the cost of electricity, when applied equally for all socioeconomic levels, ends up encouraging greater consumption in sectors that could have a more efficient use of electricity, and to which, in the absence of the subsidy, a photovoltaic system interconnected to the grid (SFVI) would also be highly profitable. It can be argued, therefore, that the regressive and inefficient nature of the subsidy increases the country's economic inequality. Resources that subsidize privileged socioeconomic levels are wasted resources that could be used in other government programs that reduce inequality. The use of SFVI can reduce the regressive effect of the subsidy and improves the prospective energy equity because the cost of electricity generated by an SFVI "freezes" at the time of its implementation so it is not subject to the increases in electricity rates of the CFE.

In short, distributed photovoltaic electricity improves the three pillars of the Energy Trilemma. First, it increases energy security by increasing the resilience of the electricity system, reducing the need for investment in infrastructure related to centralized electricity generation and transmission losses. Subsequently, it improves environmental sustainability by having a cradle-to-grave life cycle analysis 10 to 20 times lower than fossil fuels. And finally, it increases energy equity by decreasing and freezing the cost per *kilowatt-hour* (kWh).

## 4. Research Framework

### 4.1. Political-regulatory framework

Mexico's 2013 energy reform increased private participation and included targets for clean electricity generation. The new Electricity Industry Law (LIE), created simplified regulation for the generation of small amounts of electricity by consumers, in what is called distributed generation and exempted them from requiring a generation permit issued by the Energy Regulatory Commission (CRE). The LIE also pre-established practical schemes for the interconnection with the electricity grid of the Federal Commission of Electricidad (CFE). One of these schemes is *net-metering*, which allows users to "deposit" surplus generation in the electricity grid in order to "withdraw" them later. This generates a netting effect by subtracting from the total electricity consumption, the *kilowatt-hours* (kWh) of electricity injected into the grid, in such a way that the electricity system takes advantage of the generation surpluses and the user compensates its total consumption (e.g. at night) with what is contributed to the grid. Additionally, there are tax incentives for SFVI. E.g., Article 34 of the Income Tax Law allows for

the immediate deduction of 100% of the cost of a grid-interconnected photovoltaic system (SFVI) and in Mexico City the 20% reduction in the cost of water supply is offered.

For the domestic sector, the scheme prior to the energy reform that divides the country into 7 subsidized tariffs has been maintained, depending on the minimum average temperature during the summer and an unsubsidized tariff called high consumption (DAC). Each tariff sets consumption bands (basic, intermediate and surplus) with an incremental cost. The DAC rate is accessed when the limit defined for the purpose is exceeded for 12 consecutive months. Table 1, presents the cost and the tariff bands of the rate 1 and DAC rate in January of 2022 corresponding to the CDMX.

The federal government elected in 2018 has put forward some policies that could become regulatory barriers to the adoption of SFVI. On May 15, 2020, the federal government through the National Center for Energy Control (CENACE) published a

*Table 1. Cost and Tariff Slots of Tariff 1 and DAC Rate. Source: CFE*

Consumption Strip	Rate (\$/kWh)	Strip limit per month
Rate 1 Basic	0.882	For each of the first 75 kWh
Rate 1 Intermediate	1.073	For each of the following 65 kWh
Rate 1 Surplus	3.134	For each additional kWh to the previous ones.
DAC tariffs	6.279	More than 250 kWh per month for 12 months

reliability agreement<sup>5</sup> with which it seeks to limit the operation of new intermittent renewable energy plants (such as solar). At the time of drafting, the judiciary has granted several definitive general injunctions, based on damage to the environment, competition and energy security, which rendered the policy ineffective. In response to the judicial freeze of the reliability agreement, the federal executive presented a reform to the LIE that followed the same lines as the reliability agreement. The reform was approved by a simple majority and published on March 9, 2021. A month later, the Senate promoted an action of unconstitutionality signed by 48 senators, so the reform was reviewed by the Supreme Court of Justice of the Nation (SCJN). Finally, on April 7, 2022, the SCJN ruled by a simple majority in favor of the constitutionality of the reform. However, if the qualified majority is not reached, "amparo judges and circuit courts will have freedom of criteria to receive lawsuits and adhere or not to the

---

<sup>5</sup> The agreement is called "Policy of Reliability, Safety, Continuity and Quality in the National Electric System".

constitutional criterion, which also opens the possibility to go to international courts in particular cases" (Monroy, 2022) so it is expected again that its implementation will be prevented by judicial means. (Rodriguez et al., 2022). Faced with the scenario that the SCJN might not rule plainly in favor of the constitutionality of the reform to the LIE, as finally happened, the federal government presented in September 2021 an energy reform initiative at the constitutional level. The constitutional reform was discarded by the Chamber of Deputies on April 18, 2022 because it was not approved by a qualified majority.

The various energy reform initiatives, so far, do not present any changes that affect distributed energy. Conversely, in the Program for the Development of the National Electric System (PRODESEN) published in June 2021, the federal government projects an increase in the growing trend in installed distributed generation capacity. The regulatory environment is an extrinsic motivator of great relevance for the adoption of photovoltaic energy, so regulation that encourages or inhibits its diffusion can have a significant impact on the mass adoption that this research seeks. For the non-specialist public, the discussions on energy reform generate uncertainty and ambiguity through contradictory messages, inhibiting the adoption of distributed generation.

Table 2 presents the relevant regulations and standards for mSFVI research and development.

*Table 2. Relevant regulations and standards*

Regulation	Organization	Description
Electricity Industry Law and its regulations	SENER	Standard the Electrical Industry of the country
NOM-001-HEADQUARTERS-2012	Name	Mexican Official Standard NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas
Interconnection Manual	SENER	Standard the interconnections of distributed generation in the country
General administrative provisions	Energy Regulatory Commission	Standard the interconnections of distributed generation in the country
UL 3003	Hive	Standard for distributed generation cables
UL 1741	Hive	Standard for inverters, converters, controllers

---

and interconnection system equipment for  
use with distributed energy resources

---

#### 4.2. Framework of interconnected photovoltaic technology

While distributed generation can be done from any source (e.g. wind, geothermal or hydroelectric), the German development agency GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) points out that photovoltaics represent 99.5% of the more than 100,000 distributed generation plants in the country (2020, p. 5). This is due to several factors. Initially, in contrast to other renewable sources that depend on the very particular resources of the location in question, photovoltaic energy benefits from the high rate of solar radiation enjoyed throughout the national territory. In fact, photovoltaic energy is the most abundant source of renewable generation in Mexico, positioning the country in eighth place in the world for usable insolation and thirteenth for total insolation (ESMAP, 2020). Additionally, the technological development of photovoltaic energy positions it as the renewable generation technology that has experienced the greatest decrease in costs in recent decades and is therefore the most competitive technology.

Around the world, photovoltaics has had a great boom in the last decade. Breaking forecasts, photovoltaics now cost 5 times less than 10 years ago (Naam, 2020) and is forecast to cost less than half of what it costs now by 2030 (NREL, 2020). In Mexico, from 2012 to 2015, the installed capacity of low- and medium-scale SFVI doubled every year (Montalvo, 2016, p. 9). Even with this growth, less than 11,000 home users out of the existing 6 million have an SFVI.<sup>6</sup>

Due to the subsidy of the electricity tariff, the adoption of the SFVI is concentrated in tariffs with little or no subsidy, such as the DAC rate for the domestic sector or commercial tariffs. 68% of distributed generation is concentrated in medium-scale SFVI (from 2 to 10 kilowatts of power), traditionally associated with commercial rates and with the DAC rate that represents only 2% of residences in the <sup>7</sup>metropolitan area of the Valley of Mexico (ZMVM).<sup>8</sup> Around this niche, a buoyant industry of installers, equipment manufacturers and financiers has

---

<sup>6</sup> Own elaboration with open data CFE (2019).

<sup>7</sup> Own elaboration with open data of the CRE (2018).

<sup>8</sup> Own elaboration with data of the CFE obtained by requests for transparency.

been generated, taking advantage of the profitability provided by economies of scale. Approximately 1 in 13 DAC users on the ZMVM has installed an SFVI.<sup>9</sup>

Smaller systems accumulate 5 times less adoption (14%) despite representing a housing market 9 times larger than that of homes with DAC rates. Around small-scale systems there is no buoyant industry; the adoption options of photovoltaic energy are scarce. Of the six million homes in ZMVM, one million have a bimonthly consumption greater than \$500 pesos and a surplus rate consumption greater than 60 kWh<sup>10</sup>, generating a range of consumers with sufficient surplus consumption that can be replaced by a micro-SFVI.

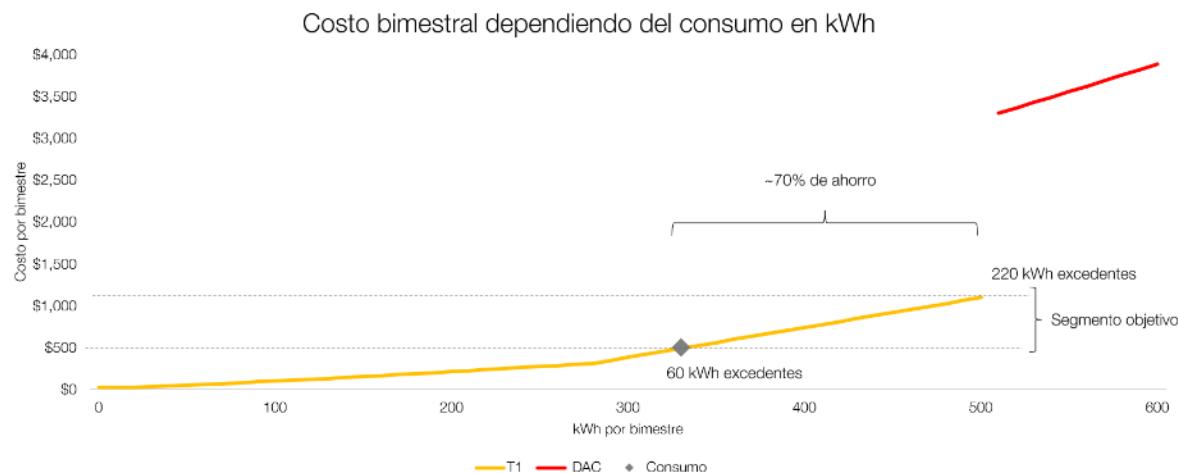


Figure 1. Sufficient surplus consumption strip. Source: Tarifa 1 CFE September 2021.

The low penetration of SFVI has multifactorial roots, with economic roots being one of the main ones (Karakaya & Sriwannawit, 2015, p. 63). The cost-accessibility of an SFVI is made up of two elements. The first is the ease of payment of the initial investment. The second is the cost of generation that you have with an SFVI compared to the cost of electricity of the CFE. The operation of a small SFVI has a minimum cost because it requires only cleaning with soap and water a few times per year. Therefore, the cost of producing electricity with an SFVI is estimated by prorating the initial investment and is called the Levelized Cost of Energy (LCOE).

<sup>9</sup> Assumes that the vast majority of SFVI Domestic in the ZMVM they correspond to DAC rate.

<sup>10</sup> Own elaboration based on the ENCEVI of inegi (2018b) and CFE open data (2018).

As García Fariña illustrates in Figure 2, the LCOE in 2015 of an SFVI is lower than the CFE rate for domestic users with DAC rate and commercial users with 2, 3 and service rates. For home users with tariff 1, this is only the case when the LCOE is at the lower end of the range.

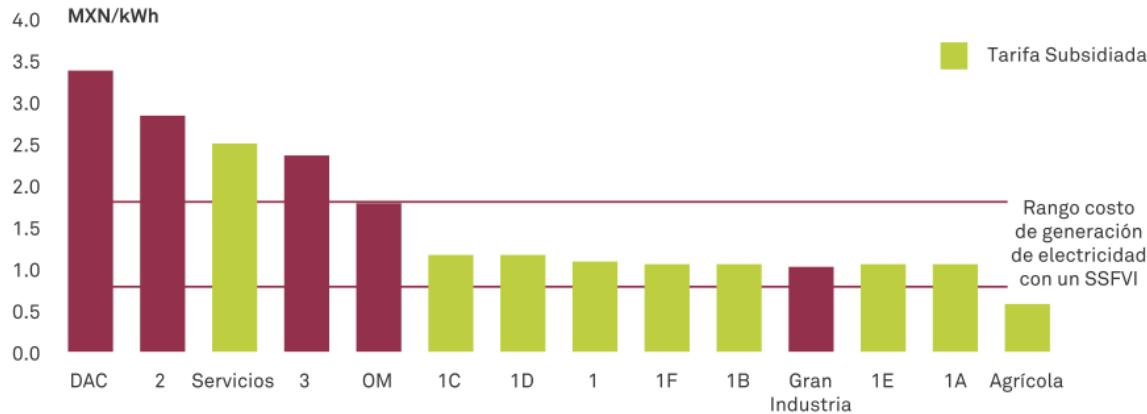


Figure 2. LCOE range with an SFVI vs. CFE average electricity rates, 2015. Source: García Fariña, 2017, p. 35.

The initial investment of the SFVI has been significantly reduced and follows a strong downward trend, achieving in Mexico a cumulative annual reduction of -11.2% from 2013 to 2016 (García Fariña, 2017, p. 6). Due to the increase in electricity consumption and the decrease in prices of the SFVI, García Fariña projects an increase in the installed capacity of distributed generation (which is mainly solar) of 37 times by 2025 (2017, p. 17). The "Escenario de Planeación" of PRODESEN 2021 projects the same increase for 2035 and presents an "Alternate Scenario" with an even greater increase, as can be seen in Figure 3.

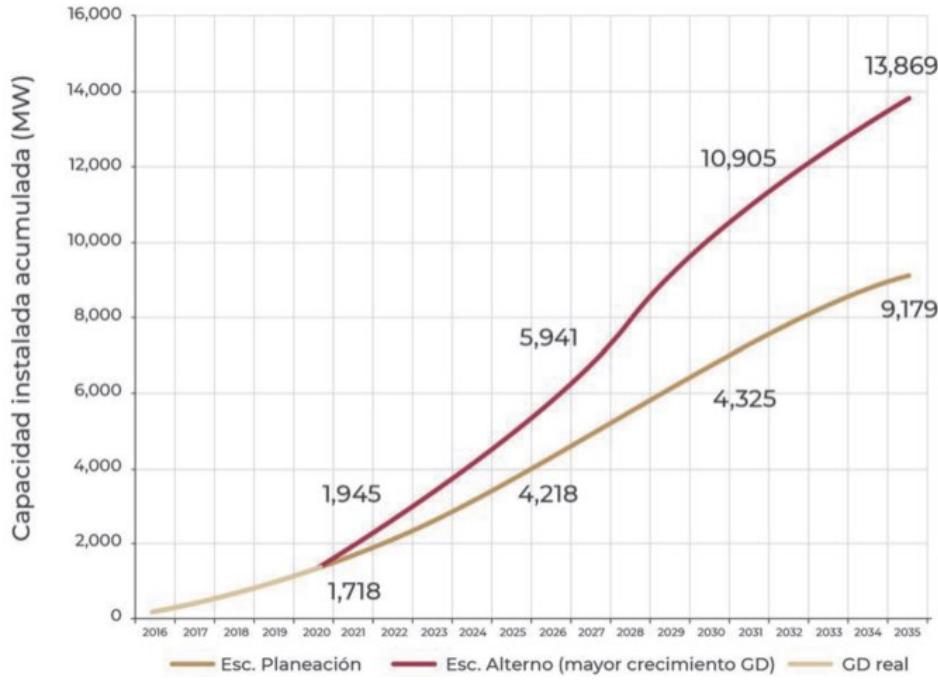


Figure 3. Evolution of Installed Capacity of Distributed Generation 2016-2035 (MW). Source: PRODESEN 2021, p. 57.

Following the general trend of many eco-technologies – at lower relative cost, greater adoption – Garcí a Fariña projects a greater implementation of SFVI as its cost is reduced. The present study seeks to explore this trend for domestic users with sufficient surplus consumption. These users have been excluded from the bulk of the commercial offer because their attention on such a low scale is cost-prohibitive. The common thread of cost reduction in this segment is the usability of installation, operation, maintenance and repair, among other factors to be identified.

Darghouth and Barbose argue that the decrease in costs in the United States since 2014 is mainly due to the reduction in the cost of solar panels and inverters; these contribute 64% of the observed cost reduction. García Fariña defines the *Software Balance of System (BoS)* as "the margin of the installer, commercial expenses to attract new customers (advertising, marketing, among others), administrative and management expenses with CFE (interconnection request and contract) and financial expenses" (2017, p. 23), while the *Hardware Balance of System (BoS)* it consists of wiring, switches and mounting system (García Fariña, 2017). Installation, BoS hardware and BoS software only contribute 36% in cost reduction (2019, p. 3), or 45% less input compared to panels and inverters. However, in Mexico, García Fariña states in Figure 3 that installation, BoS hardware and BoS software in an SFVI represent ~60% of the cost of an SFVI (2017, p. 23).

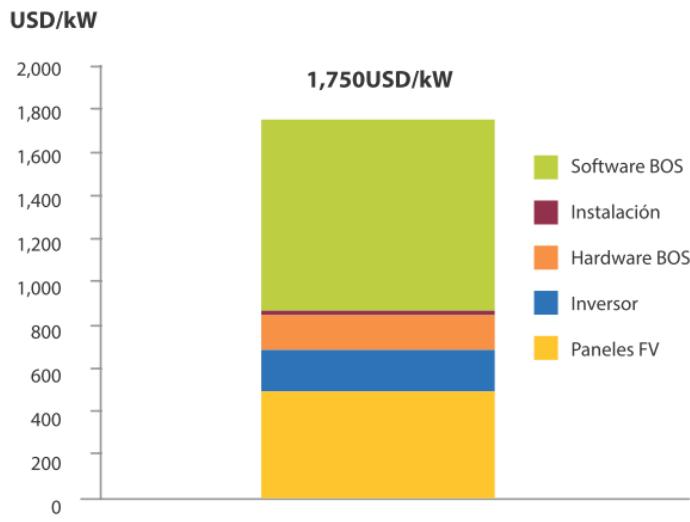


Figure 4. Composition of the average market price of an SFVI (1-10kW) 2016. García Fariña, 2017, p. 23.

The conjuncture between the low-cost reduction presented by the installation and the BoS hardware/software, the great contribution of these to the total cost of an SFVI and the requirement of cost-accessibility for the adoption of the technology, forms a possible area of opportunity for the present study.

This problem is confirmed in the *Boston Strategies International* study carried out for SEMARNAT in 2016. The study identifies the following areas of opportunity to reduce the cost of an SFVI:

- Efficiency in the use of the remaining hardware in the installation (BoS), and in the adoption of best practices and new technologies in the installation.
- Interlocking and sliding solutions to replace screws in mounting systems or modular systems with standard interfaces.
- *Plug and play* wiring connections, as well as designs that reduce manual work around cable placement.
- Reduced profit margins in the supply chain as the industry matures and competition increases (Boston Strategies International, 2016, p. 93)

The solution to the problem, therefore, must comprehensively address the cost components comprising installation, BoS hardware and BoS software as broken down in Table 3.

Table 3. Installation Components, BoS Software and BoS Hardware

Installation	Software BoS	Hardware BoS
1) Labor	2) Management before CFE	6) Mounting system
	3) Installer margin	7) CD/AC cabling
	4) Business expenses	8) Interconnection to the grid
	5) Financial expenses	9) Monitoring

Figure 3 shows the most common components of a small SFVI:

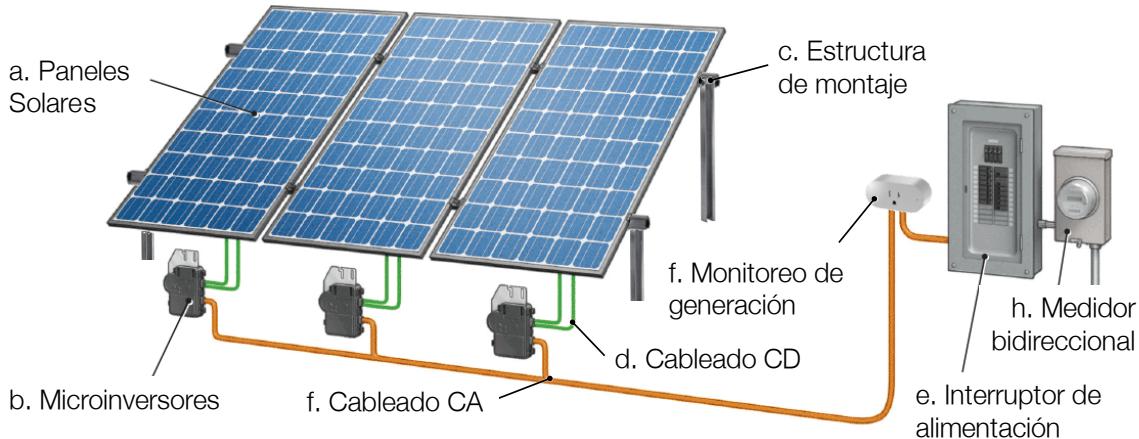


Figure 3. Common components of a small SFVI. Source: Adaptation(Mills in Christiana, 2022).

#### Solar panels and microinverter

- Solar panels: There are various technologies and sizes of photovoltaic modules, commonly known as solar panels. The use of standard panels (60 or 72 cells) increases the supply possibilities, decreases the cost and allows the natural incorporation of new panel technologies; although each panel has an approximate weight of 20kg which makes it more difficult to handle.

- b. Inverter: The use of a microinverter turns each panel/microinverter into a modular generator and eliminates the need for direct current wiring. According to the Interconnection Manual, the microinverter must have anti-island, over-current, over-voltage, low-voltage, frequency variations and synchronism protection. Such protections are standard in microinverters developed for the US and European market, and are covered in the following certifications UL 1741, VDE-AR-N 4100, IEC 62109-1 and IEC 62109-2.<sup>11</sup>

#### *Hardware BoS*

- c. Assembly and installation structure: There are two structure systems to fix the solar panels to the property. The structures supported to the property, usually the slab, through screws and taquetes, and the structures supported to the property through the use of counterweight. The structures must be designed so that the photovoltaic panels have the ideal inclination, do not generate shadows among themselves, can be landed and resist the force of the wind. Almost all SFVI in Mexico are installed with structures that require slab drilling.
- d. CD cabling: With the use of microinverters, the need for additional CD cabling is eliminated, which has a higher risk and cost than AC cabling.
- e. Power switches: According to the Interconnection Manual, two switches per SFVI are required. With the use of microinverter, in accordance with article 690-6 of NOM-001-SEDE-2012, the panel/microinverter assembly is considered as a single component so a direct current switch is not required prior to the power of the microinverter. A second switch must be located before the CFE meter and the general switch of the building can be used for the effect.
- f. Generation monitoring: Monitoring is optional<sup>12</sup>, as it is not required for electricity generation. Monitors developed by microinverter companies can be used, although they are usually of high cost, or simple consumption meters such as Kill-A-Watt or Smart Plugs can be adapted, for small SFVI where monitoring does not require industrial precision.

---

<sup>11</sup> Interconnection Manual of Generation Plants with Capacity less than 0.5 MW

<sup>12</sup> The current regulation for distributed low-voltage generation requires monitoring, and its modification is unlikely even if reforms in the energy sector are approved.

g. AC cabling: Must be designed for outdoor (TC-ER or UL 3003) or be channeled.

For safety, an oversize of 25% is applied in accordance with article 690-8 of NOM-001-SEDE-2012. The connection to the electrical network of the property can be made directly through an outlet in the case of small systems, as long as the electrical installations of the property are under standard.

#### *Software BoS*

- h. Interconnection with the CFE: Two predefined contracts are signed with the CFE at no cost; an interconnection contract and a consideration contract. Without setbacks, within a maximum period of 13 working days the CFE installs the bidirectional meter. In low voltage, no opinion of an Inspection Unit is required to reserve commercial properties in which agglomerations occur.
- i. Financing: The acquisition cost of SFVI is often financed, due to their high cost.
- j. Marketing and other administrative: Cost incurred by the integrator for the capture and closing of the sale.

These components emerge from a buoyant national and international value chain. The national value chain of some of these components can be seen in Figure 4.

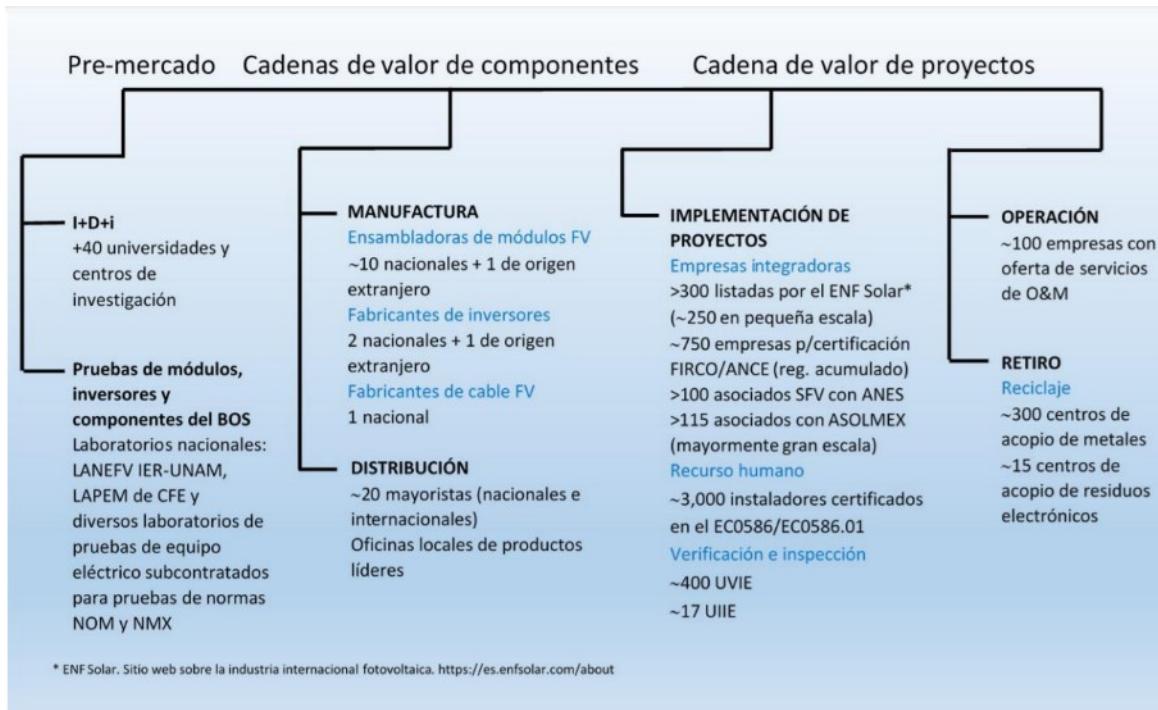


Figure 4. Value chain of distributed generation in Mexico. Value chain of distributed generation in Mexico. Source: National Institute of Electricity and Clean Energy (INEEL) & Climate Initiative of Mexico (ICM), 2019.

This value chain, as well as the multiple steps and intermediaries required for the adoption of an SFVI, is often invisible to the end user who interacts exclusively with the integrator. The integrator plays a fundamental role in the industry because, as its name announces, it is the one who integrates the added value of the chain and often presents it as a package to the end user. In this way, it is the integrator who procures the components of a wholesaler, intermediate between the financial institution and the end user, performs the installation and management of interconnection with the CFE. This can be seen in Figure 5.

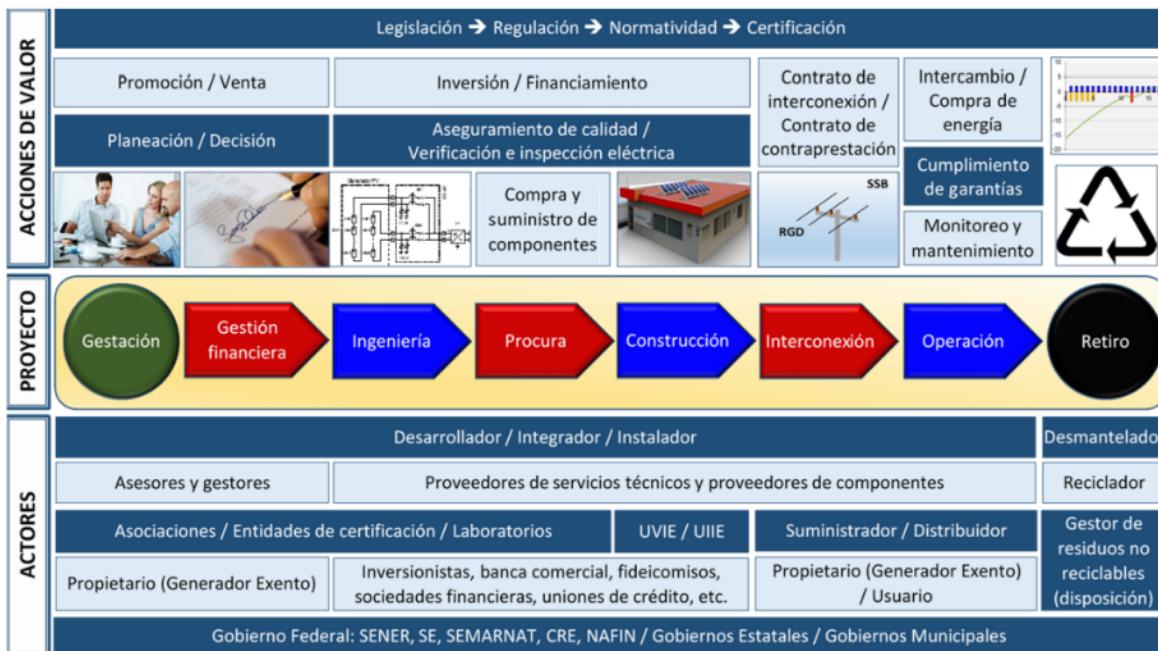


Figure 5. Value actions and actors of distributed generation in Mexico. Source: National Institute of Electricity and Clean Energy (INEEL) & Climate Initiative of Mexico (ICM), 2019.

The gain of the integrators of each project is proportional to the magnitude of each project. That is, the larger the project, the greater its profit. Because of this, Víctor Ramírez, former director of the National Solar Energy Association, has identified a trend that deprives small consumers of the offer of integrators. As they venture into the industry and grow, small-scale projects lose attractiveness so they leave the segment to focus on larger customers that represent more profit (personal communication, November 27, 2020).

The specialization of integrators in large-scale projects generates a praxis that, although it is according to large projects, is not adequately adapted to small-scale projects or mSFVI. As a result, some integrators have difficulty accepting plug-n-play systems and installations that deviate from common industry practices, even though these are developed around large projects.

### 4.3. State of the art

As previously stated, despite advances in reducing the costs of photovoltaic energy, its use is virtually non-existent in the ZMVM. One of the reasons that explain this is that, systemically, the motivators of adoption of small home users have not been resolved to promote their mass

adoption (Karakaya & Sriwannawit, 2015). This section presents some of the most prevalent adoption barriers and some practical applications that propose to solve them.

The low penetration of SFVI has multifactorial roots. There is a body of literature that addresses the factors, conditions and characteristics that influence the adoption of residential photovoltaic energy. Karakaya and Sriwannawit (2015) in a meta-analysis of 33 texts spanning 4 continents, conclude that the adoption of photovoltaics is still a challenging process, identifying the following main barriers:

- Economic barriers: The cost of photovoltaics is perceived to be prohibitive.
- Socio-technical barriers: The perceived complexity of SFVI inhibits their adoption.
- Business barriers: The lack of adequate solutions to the target market.
- Regulatory barriers: Public policy plays a fundamental role in achieving the profitability of SFVI and its rapid dissemination.

One of the main barriers in Mexico, which acts as a detractor of extrinsic motivation, is regulation. Although since 2013, with the implementation of the energy reform, distributed generation is significantly promoted, by reducing financial and administrative costs, it did not systemically resolve the implementation barriers. For example, the federal subsidy on domestic electricity rates is an extrinsic detractor of adoption motivation, by increasing economic barriers. Regulatory barriers, therefore, set the tone in the rest of the adoption barriers by hindering the profitability that electricity supply alternatives would encourage.

Economic, socio-technical and business barriers are intrinsically linked and tend to revolve around the business barrier, since it is from the viability of business models that functional solutions are proposed that seek to influence all barriers. For example, due to the limited knowledge of SFVI, it is SFVI providers who find ways to educate the final consumer to solve socio-technical barriers and propose the most appropriate system for the needs of the final consumer. Similarly, it is usually SFVI's suppliers who propose alternatives to the final consumer to solve economic barriers. For small consumers, due to the scarcity of business proposals that solve socio-technical barriers, the economic barrier is increased by what giZM estimates that small SFVI are 30% more expensive (2020, p. 16).

The initial cost of an SFVI is one of the most prevalent adoption hurdles. Because the cost of maintaining and operating an mSFVI is virtually zero, the initial cost is the total cost that the system will have over its lifetime. Therefore, financing the initial cost of an SFVI is a very recurrent practice. However, most of the options available in the country are limited to larger SFVI because they require a DAC rate (FIDE, Telmex, BX+) or have high minimum amounts (CI

Banco, Caja San Rafael) and contemplate requirements that may hinder their viability (application for guarantee, guarantees, ownership of the property).

In 2017, Mauricio de Mucha launched Red Girasol ([www.redgirasol.com](http://www.redgirasol.com)) to facilitate the financing of SFVI through *crowdfunding*. Red Girasol has no minimum loan, does not restrict by fee, and does not require collateral, down payment or ownership of the property. To date, they have financed nearly 500 SFVI with a total value of ~\$70 million pesos. By pulverizing the loan among many lenders, this scheme achieves a decrease in financial risk for creditors.

In addition to financing, lease or fee-for-service schemes are alternative business models that remove the barrier of initial cost to the end user through a sustainable product-service system. In these schemes, the initial cost is borne by a third party, which sells the energy consumed by the end user at a price lower than that of the CFE or charges a fixed amount for lease of the SFVI less than the total savings generated by the system. Historically, fee-for-service schemes were limited to large industries such as Walmart and Cemex. However, in June 2020 Banverde ([www.banverde.com](http://www.banverde.com)) entered the market with a disruptive offer available to large users, but of much smaller size. End users with a bimonthly cost of electricity greater than \$ 50 thousand pesos, can contract without initial cost to Banverde for the implementation of an SFVI in their facilities and receive in return: tax benefit of the cost of the SFVI, free electricity the first 6 months, a saving on their electricity bill of between 15% and 30% during the next 10 to 15 years and subsequently the ownership of the SFVI and energy free that it generates during the rest of its useful life. A disadvantage of leasing and fee-for-service schemes is that the provider must have high capital. For example, Banverde has a \$15 million fund for its first round, with which they hope to reach 300 clients.

A side of the pay-per-service scheme can occur within collective agreements or community SFVI where a centralized SFVI supplies several end users. In Mexico, at the end of 2019, the CRE "approved a regulatory agreement for collective distributed generation... although its publication in the Official Gazette of the Federation is still pending" (Jiménez, 2022). The delay and uncertainty of regulatory implementation prevents the application of net metering, necessary for financial viability, to projects where the SFVI and all end users share the same point of interconnection to the electricity grid. This could be a solution for those small consumers who meet these characteristics, but for the bulk of users, this limitation acts as a detractor of this scheme. There are no implementations in Mexico yet, but other countries with more flexible regulations have seen successful implementations. For example, solstice Initiative

(<sup>13</sup><https://solstice.us/>), founded in 2017 in the United States, supplies community solar energy to 6,500 homes.

Another approach to overcoming the economic barrier is through the reduction of the BoS costs of an SFVI. Due to the comparative simplicity of small-scale SFVI, they are more susceptible to cost reduction in these fields. Small-scale SFVI can benefit from greater standardization, allowing for a simple commercial offering that lowers customer acquisition costs, and be designed to transfer the performance of some tasks, such as installation and administrative management with CFE, to the end user. This approach is called "*Plug and Play*" (PnP) because of the simplicity of its installation and connection. The marketing of SFVI PnP is usually directly to the end user or using other means of distribution such as hardware chains; bypassing normal SFVI suppliers and shortening the supply chain in case of direct selling.

In Mexico there are currently two incipient offers of SFVI PnP. BeeSolar (<https://beesolar.mx/>) was launched at the beginning of 2018. It offers a unique kit of 540 watts of power consisting of two solar panels, a microinverter, an aluminum mounting structure, a wireless generation meter and a connection to a 120-volt outlet. Its installation requires assembly with tools, use of drill and taquetes. BeeSolar provides customers with advice and the necessary documents to fill out for the end user to make the interconnection request with the CFE and has a series of didactic videos to guide the end user in the installation and connection process. BeeSolar is marketed exclusively through its own website and does not provide financing options.



Figure 6. SFVI BeeSolar, with illustration of required tools.

Renewable Energy of America (ERA, <https://www.energiadeamerica.mx/>), on its own, is an eco-technology provider for the National Housing Commission's Green Mortgage program. Through the Green Mortgage and sale in Home Depot, it has for sale kits of 270 or 540 watts

---

<sup>13</sup> Such as residential or commercial complexes that concentrate all electricity meters in the same location

of power, consisting of one or two photovoltaic panels, microinverter, aluminum mounting structure, a connection to a 120-volt outlet and documents to carry out the interconnection process with the CFE. The installation is just as onerous as that of BeeSolar, although when the purchase is made financed with the Green Mortgage the installation is borne by the supplier.<sup>14</sup>



*Figure 7. SFVI ERA Helios, with illustration of aluminum structure and connection to outlet.*

In June 2021, the equivalent cost per kilowatt of installed power of BeeSolar and ERA was \$47,709 and \$35,183, respectively. In contrast, the average upper limit of the cost observed by giz is ~\$30,000 pesos (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2020, p. 16). Due to their high cost, these proposals increase the economic barrier and due to their complexity of installation, they do not satisfactorily solve the socio-technical barrier.

Launched in 2017, the Dutch Supersola (<https://supersola.com/>) is the state of the art for SFVI PnP. It offers an SFVI in "black box" format of 300 watts of power. The installation, by the end user, does not require a tool since it uses a structure that unfolds and refillable tanks with water incorporated into the structure as a counterweight. The connection is made to an outlet and up to 6 Supersola can be daisy-chained. It offers as an additional accessory a generation meter, which works as an adapter in the connection to the outlet. Marketing is done directly on your website or through a chain of hardware stores with a format similar to Home Depot. Its cost per kilowatt installed is 5% lower than the upper limit reported by Van Sark & Schoen for similar systems in the Netherlands (2017, p. 2868). Due to its simplicity and better cost, this proposal has the potential to influence the resolution of economic and socio-technical barriers.

---

<sup>14</sup> It finances an additional amount mandatory to all Infonavit credits for the installation of certain enotecnias at the choice of the end user.



Figure 8. SFVI Supersola, with self-contained folding structure and "black box" type system.

As presented in this study of the technique, there are systemic causes why the mass adoption of SFVI in the ZMVM by domestic users with sufficient surplus consumption has not yet been triggered. At the root, there is no offer that has managed to solve the adoption motivators of this segment. For larger segments, existing solutions have managed to overcome the different adoption barriers and achieve high penetration rates, however, they do not yet permeate towards small SFVI. Therefore, it is pertinent to analyze whether there are best practices and solutions that could be articulated together for the attention of the mass adoption motivators of small home users. Below, three different edges to this theme are presented through the academic articles object of this report, which lay the foundations for the development of design that continues.

## 5. Edges and Contributions to the Research of Published Articles

### 5.1. Originate from design through social entrepreneurship

The first article, published or at the beginning of 2021 in the Chilean Journal of Design: Creation and Thought of the University of Chile, invites design to increase its agency through social entrepreneurship.

According to Hernández López (2021), the design agency is the ability of the designer to be an active part of the decisions throughout the design process; seeking to collaboratively impact people and generate a change in which social awareness is a core part.

The present research is a specific case of the argument of the article, since the research proposes a systemic approach, through a product-service system (SPS), which increases the agency of the design, since it is involved with great faculties in all stages of the project even in the very definition of the problem to be addressed. The SPS proposed by this research seeks to evolve into a social enterprise. Being an open technology research, it bets on the generation of a symbiotic system of social entrepreneurship around the proposal.

The article is included verbatim in section **Error! Reference source not found.: Error!**  
**Reference source not found..**

## 5.2. SFVI Adoption Motivators

The second article, published at the end of 2021 in the Journal renewable Energies and Environment of the Argentine Association of Renewable Energies and Environment, is a literature review of the factors that influence the adoption of grid-interconnected photovoltaic system (SFVI) in the global south. The article is co-authored by Dr. Juan Carlos Ortiz of the Postgraduate Degree in Industrial Design of the UNAM.

This article is a source of *insights* that revolve around the effect of complexity on the adoption of SFVI and how to address its edges to mitigate it. At the center is the adaptation of the SFVI to the target user, sizing the system to their needs and incorporating their cultural capabilities and practices in its design. The regulatory environment is identified as a critical component that impacts the adoption of SFVI, by hindering or incentivizing the process, and represents the foundation stone of the relative advantage of SFVI.

Error! Reference source not found.Error! Reference source not found..

## 5.3. Best practices to mitigate the socio-environmental impact of an SFVI

The third article published in mid-2022 in volume 6, number 1 of the Latin American and Caribbean Energy Review (ENERLAC) of the Latin American Energy Organization (OLADE), is a literature review of best practices that mitigate the socio-environmental impact of SFVI. The article is co-authored by Dr. Fabio Manzini Poli of the Institute of Renewable Energies of the UNAM. Previously, in October 2021, the paper was presented at the National Solar Energy Association congress: XLV National Solar Energy Week.

The contribution of this article to research has two approaches. On the one hand, the socio-environmental impact of photovoltaic technology is frequently cited by its detractors. The article contextualizes this impact in depth, showing that although it is a problem that requires a solution, it is of much smaller magnitude than the predominant alternatives today. On the other hand, it presents the best practices that allow a significant reduction of the environmental footprint of an SFVI, through the selection of its components, and the relevant need to design the components from cradle to cradle and the role of legislation to achieve the adequate management of the waste of an SFVI at the end of its useful life.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> "Cradle a cot" herself refers to the design For what at the end of their useful life, they can be truly recycled (*upcycled*) all its components, imitating the cycles of nature (Sherratt, 2013)

Error! Reference source not found.Error! Reference source not found.

## 6. Design Development

### 6.1. Defining the target end user

To make a better design proposal, one of the objectives of this project is to discover, define and characterize the end user. The definition of the target end user is made from a comparative analysis of the different users of electric light in the metropolitan area of the Valley of Mexico (ZMVM), recording in an infographic for each segment of users: the number of users, the annual consumption of *kilowatt-hours* (kWh), the regulatory, economic and technical viability and the competition in the offer to the segment. The parameters used for comparative analysis can be seen in Figure 9. The domestic end-user with sufficient surplus consumption (CES) is the most interesting for mass adoption in the ZMVM for this research. This segment of 1.1 million homes represents between 10% and 15% of the region's total electricity consumption.

Usuarios potenciales para adopción masiva en la ZMVM



	Parámetros
Número	Dato duro cuando existe de usuarios reportados por CFE en el 2018 en cada tarifa correspondiente, de lo contrario se denota en la tabla.
Consumo kWh	Dato duro cuando existe de consumo reportado por CFE en el 2018 por la tarifa correspondiente, de lo contrario se denota en la tabla.
Viabilidad	Se asigna calificación buena, media o mala y se apunta a la razón principal.
Regulatoria	Asignación cualitativa basada en elementos de la regulación que incentivan o inhiben la adopción.
Económica	Asignación cualitativa basada en costo-efectividad y alternativas de adquisición.
Técnica	Asignación cualitativa basada en el mapeo de oferta existente.
Competencia	Asignación cualitativa basada en la cantidad de proveedores en el segmento.

1

Figure 9. Parameters for the comparative analysis of potential end users

The Unsubsidized user rate shown in the first column of Figure 10 creates the conditions for a good return on investment in a grid-interconnected photovoltaic (SFVI) system, giving it economic viability. Similarly, it has conditions for good regulatory viability, by entering the low-voltage distributed generation scheme. Additionally, there is no significant

competition with supply to this segment. The technical feasibility is medium as the industry trend is towards larger SFVI.

### Usuarios de interés por potencial de adopción masiva



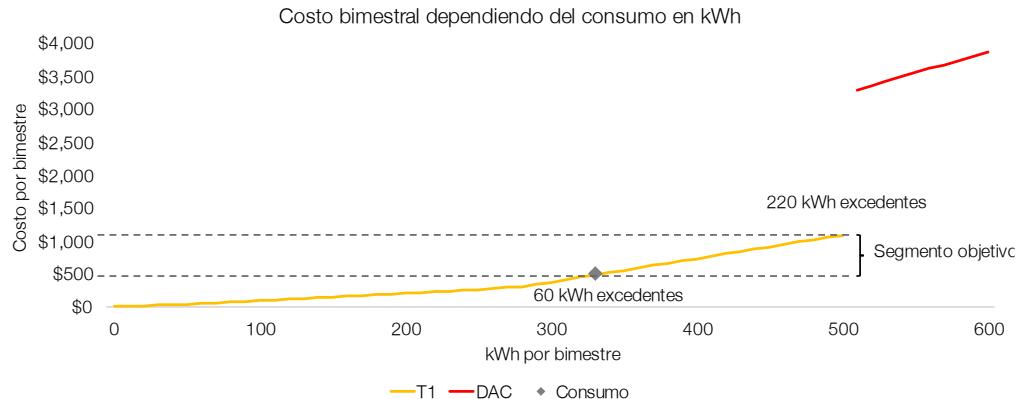
	Usuario final residencial con tarifa excedente	Comercios en mismo punto de conexión	Usuarios industriales de alta demanda	Entidades públicas
Número	1.1 M	0.01 M	0.04M	Muy bajo
Consumo kWh <sup>1</sup>	10%-15%	0.2%	60%	Relevante
Viabilidad				
Regulatoria	Tarifa sin subsidio	Contrato colectivo	Burocrático & costoso	Burocrático & costoso
Económica	Prob. costo - efectivo	Venta complicada	Alta rentabilidad	Posible financiamiento
Técnica	Sistemas grandes	Req. Sistema Administración	Mucha oferta	Venta muy complicada
Competencia	Sin oferta	Sin oferta existente	Muy competido	Sin oferta existente
Acción climática	Peso similar de usuarios en acción climática		Gran acción climática por usuario	

1: DENU 2021. Incluye plazas comerciales con 7 a 21 comercios al menudeo con misma dirección en CDMX y Edomex. Consumo medio de la tarifa.

Figure 10. Comparison of users of greatest interest for climate action and mass adoption

For this CES user, it is possible to replace the kWh consumed in surplus rate, which do not have a subsidy, in an economically attractive and technically viable way. This consumption band is identified as "Target Segment" in Figure 11. For Domestic Rate 1 (T1) the CES user consumes between 60 and 220 kWh in surplus rate and pays between \$500 and \$1,100 pesos per two months. The upper limit is located directly before the DAC rate illustrated in red.

Un micro SFVI puede reemplazar el consumo excedente sin subsidio, haciendo viable y atractivo este segmento



Fuente: Tarifas CFE Sep '21

5

Figure 11. Bimonthly cost per kWh consumption in Tariff 1

Through the National Survey on Energy Consumption in Private Homes (ENCEVI) carried out for the only time by INEGI in 2018 and the National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) of 2018, it is possible to characterize some aspects of the CES domestic user. As can be seen in Figure 12, most live in their own homes, have a television, refrigerator, washing machine and smartphone, although a smaller percentage have internet and a car.

According to Hancevic et al (2019; personal communication, april 21, 2021) the analysis by decile of expenditure is considered as the best practice to reduce the effect of income temporality. From this, in an analysis of the CES user by expense decile it is possible to identify that most CES users concentrate on the highest deciles and that the lower deciles have an electricity expenditure proportionally 3 times higher than that of the high deciles. This can be seen in Figure 13<sup>16</sup>. Similarly, Figure 14 identifies that approximately half of the heads of household of CES users have a maximum level of secondary education or less (ENIGH, 2018).

<sup>16</sup> To illustrate the concept, a dwelling of the decile 5 with ingresos of \$3 and one of the decile 10 with income of \$10Both may have an expense of \$1 of electricity. Proportionally, the expenditure on electricity of the dwelling of decile 5 is 3 times greater than that of the house of decile 10.

Los usuarios con consumo excedente suficiente (CES) en la ZMVM



80% vive en casa propia  
2 niveles o menos  
65% tiene más de 20 años de construcción

Las viviendas cuentan con:



55%



76%



95%



98%



85%

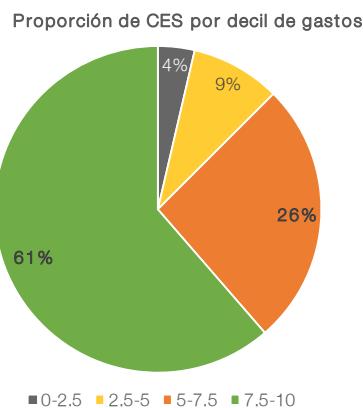


97%



Figure 12. Characterization of the CES user. Source: ENCEVI (2018).

Los deciles más altos acumulan más del doble de usuarios CES (61%) que el segmento siguiente (26%)



- El 87% de los usuarios CES se concentran en los deciles del 5 al 10.
- El gasto en electricidad del decil 5, es proporcionalmente 3x mayor que del decil 10.
  - Los usuarios CES de los deciles más bajos podrían tener mayor descontento
- Existe una diferencia considerable en la distribución de usuarios CES entre nivel socio-económico y por decil de gasto
  - Por decil de gasto se concentra en los dos cuartiles más altos
  - Por nivel socioeconómico incluye el nivel socio - económico medio bajo con una fuerte participación

Fuente: ENIGH 2018 para CDMX y EDOMEX.

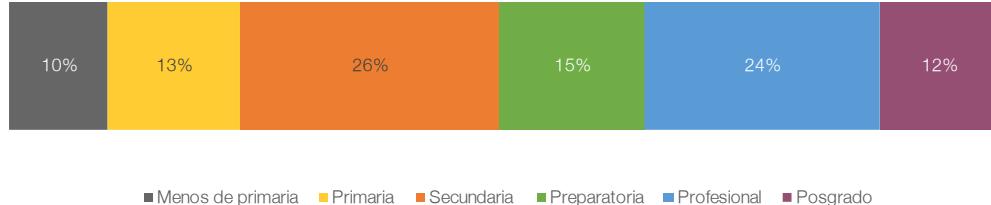
13

Figure 13. CES user analysis by expense decile. Source: ENIGH (2018a).

En el 49% de las viviendas CES, el grado máximo de estudios de la jefa o jefe de familia es la secundaria o menor



Distribución de grado máximo de estudios de jef@ de familia de usuario CES



Fuente: ENIGH 2018 para CDMX y EDOMEX.

Figure 14. Maximum degree of studies of CES users. Source: ENIGH (2018).

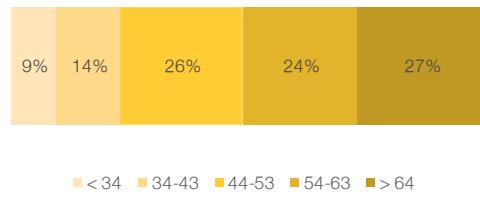
9

El 51% de los usuarios CES son mayores a 54 años de edad



- Es probable que conforme a mayor edad, mayor la reticencia al cambio y a las nuevas tecnologías
- La confianza y facilidad en el proceso de compra y uso es clave
  - Posible aprovechar redes de confianza existentes y puntos de contacto habituales
- Una cuarta parte de los usuarios CES son millenials o generación Z
  - Alta adopción y uso de nuevas tecnologías

Distribución de edad del jef@ de familia del usuario CES



Fuente: ENIGH 2018 para CDMX y EDOMEX.

9

Figure 15. Age of CES users. Source: ENIGH (2018).

## 6.2. User experience in paying for electricity

Several international studies have found that concern about the cost of electricity and its upward trend is a common feature among SFVI adopters (Bondio et al., 2018; Moezzi et al.,

2017; Sigrin et al., 2015).. To contextualize the sentiment about the payment of electricity in the Mexican market, a survey was proposed among domestic users. This allowed to narrow down more precisely the target end user, by identifying if there are factors and a level of cost from which the target user perceives the payment of electricity as a problem or as a negative experience that can potentially be solved through an SFVI. To identify affectivity (as it is technically referred to feelings and emotions) the translation and implementation of the *Positive and Negative Affect Schedule* (PANAS) carried out in Mexico by Robles and Páez (2003) was used. The PANAS measures in two general dimensions, positive affectivity and negative affectivity and is one of the most used instruments to evaluate affectivity (Brdar, 2014).

An online survey was conducted, distributed on social networks from February 28 to March 18,<sup>17</sup> 2021. 197 responses were obtained and 33 responses were eliminated, 22 for being outside the ZMVM or being incomplete and 11 for already having SFVI. Therefore, the analysis is carried out with 164 responses. A finding associated with the population is that 88% of the respondents reported having higher or postgraduate studies, therefore, it can be assumed that it is highly likely that they belong to medium-high and high socioeconomic strata. The results were statistically processed with the following R, Xrealstats and RegressIt software.

A statistical model of multinomial regression was performed from the selection of dependent variables. With regard to the experience with the payment amount, the model results in an accuracy greater than 90% for dislike-like, frustration-charm and sadness-joy. These dependent variables are explained by 83%, 71%, and 66% respectively, by the set of the following determining variables:

- 1) The perception of the amount paid vs. the amount consumed (high/low)
- 2) The perception of the trend of the amount paid (up/down)
- 3) The general perception of the trend in the cost of light (up/down)
- 4) The proportion of household income that is used to pay for electricity (much/little)

Therefore, it is possible to conclude that the affectivity related to the amount of the electricity payment is determined mainly by the subjective perception of the user. In other words, affectivity is mainly relative to the user and not to the amount per se that the user pays. The following insights emerge from this analysis:

---

<sup>17</sup> The survey used can be consulted in <https://forms.gle/t4fy11ufDAbrct4EA>

- Communication with the target user should focus on their perception rather than the absolute amount they pay.
  - For example: Do you feel that every day you get more expensive to pay for electricity? vs. Do you pay more than \$500?
- Guilt is not an emotion present in the experience with the payment of light, so communication that evokes the feeling of guilt is probably ineffective.

Of the 164 surveys used, 82 participants have thought about adopting an SFVI. Of these, 54 thought to do so for economic reasons and 41 for environmental reasons. This indicates that both axes should be used in communication with the end user. On the other hand, one third of the people who responded to the survey reported being interested in installing an SFVI, having found out about it, but finally gave up for the reasons set out in Figure 16.

## Factores que inciden en el fallo de adopción



- Pregunta de investigación:  
¿Qué factores inciden en el fallo de adopción de la electricidad fotovoltaica aún habiendo interés?
- Hipótesis de investigación:  
Existen factores principales que explican el fallo de adopción.

Motivo	%
Costo e inversión	61%
Costo	45%
Falta de espacio físico	18%
Desconocimiento	18%
Inversión	16%
Bajo consumo	12%
Renta su vivienda	10%

● Los motivos del 78% de los participantes son susceptibles al alcance de la investigación

15

Figure 16. Factors that affect the adoption decision. Source: Self-developed survey (2021).

These reasons confirm the focus on the target user and the solution through a product-service system of a photovoltaic microsystem interconnected to the plug-and-play network (mSFVI-PnP), since it manages to meet 78% of the reasons cited by the respondents to desist with the installation of an SFVI. Additionally, they denote a latent interest in the adoption of SFVI among home users since a third of them had already taken action to find out about it.

### 6.3. Product-service system design

For the development of the product-service system (SPS), the Tools System Map and Concept Description Form of the *Learning Network on Sustainable Energy Systems* (LENS) are used (Vezzoli et al., 2018). Subsequently, they are complemented with these tools *Persona*, *User Journey Map* and *Blueprint service* (Stickdorn et al., 2011).

#### 6.3.1. System Map

The System Map is a progressive tool based on technical drawing of coded representation. Being a representation of a system in process, it improves its fidelity as the project develops (Vezzoli et al., 2018). As can be seen in the following illustrations, the analysis of the System Map begins with a mapping of the current system, identifying the actors, key relationships and information gaps. Subsequently, the desirable system is developed, identifying new actors, roles or relationships and information gaps.

On the map of the desirable system stands out the figure of a new actor, the *Handyperson* or *Enabler Solar*, which arises after training people of multiple trades to which many households resort when they require minor repairs at home. Through the training it is intended to enable these new actors to be able to carry out the delivery, installation, repair and maintenance of the mSFVI. In addition to receiving the training, this new actor is empowered in his role by the ease of installation of the mSFVI through its Plug-and-Play (PnP) feature. Hence, it could even be installed by the same end user.

From the desirable System Map, the multipurpose actor emerges, which becomes an additional user with its incorporation into the system. Therefore, later *Persona*, *User Journey Maps* and *Blueprints* of the service are developed for both the end user and the multipurpose user.

The SPS developer role is presented by the trade name of tuSolar (tS) in the diagrams.

# Mapa del sistema actual de los mSFVI en la ZMVM

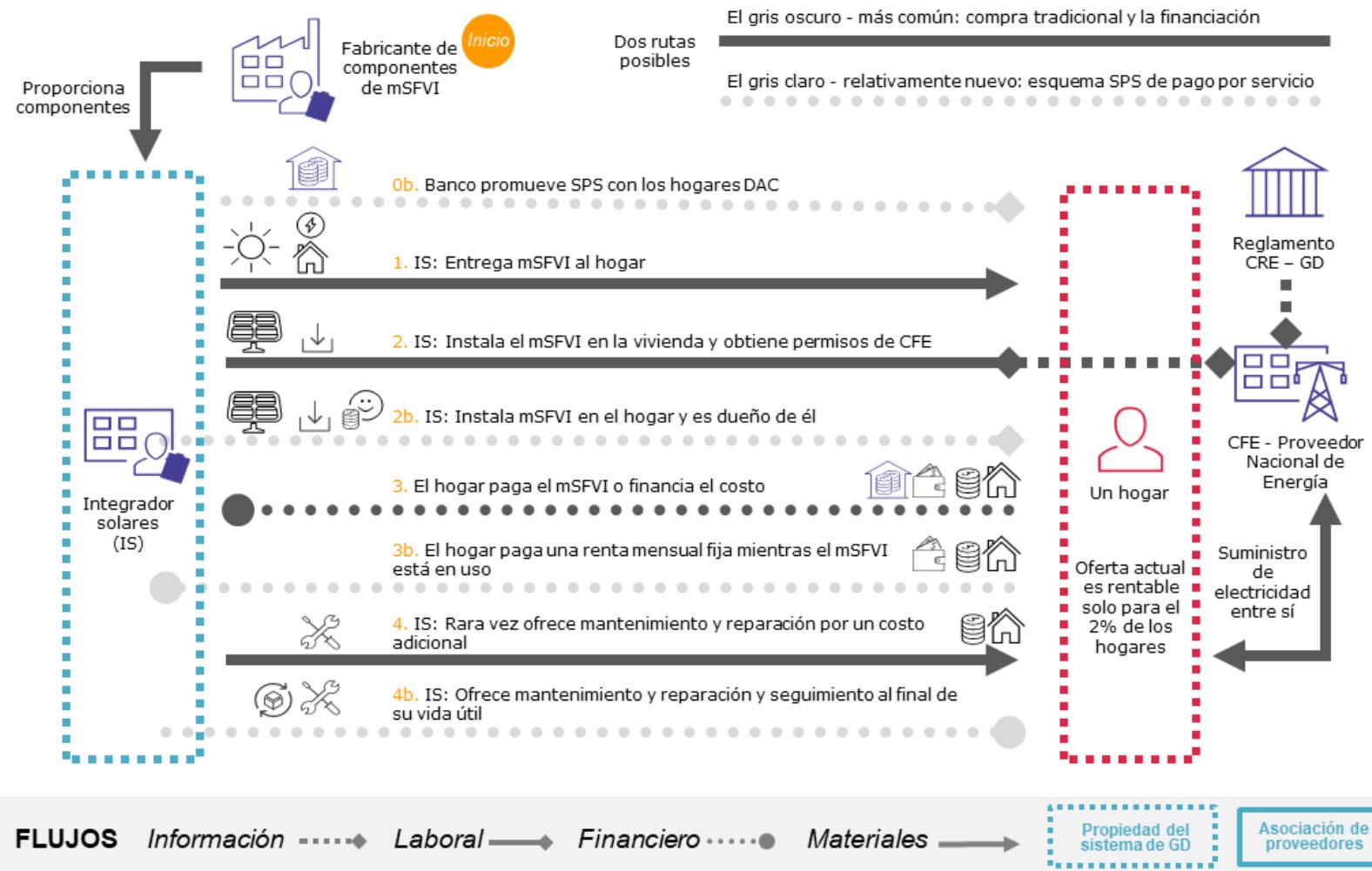
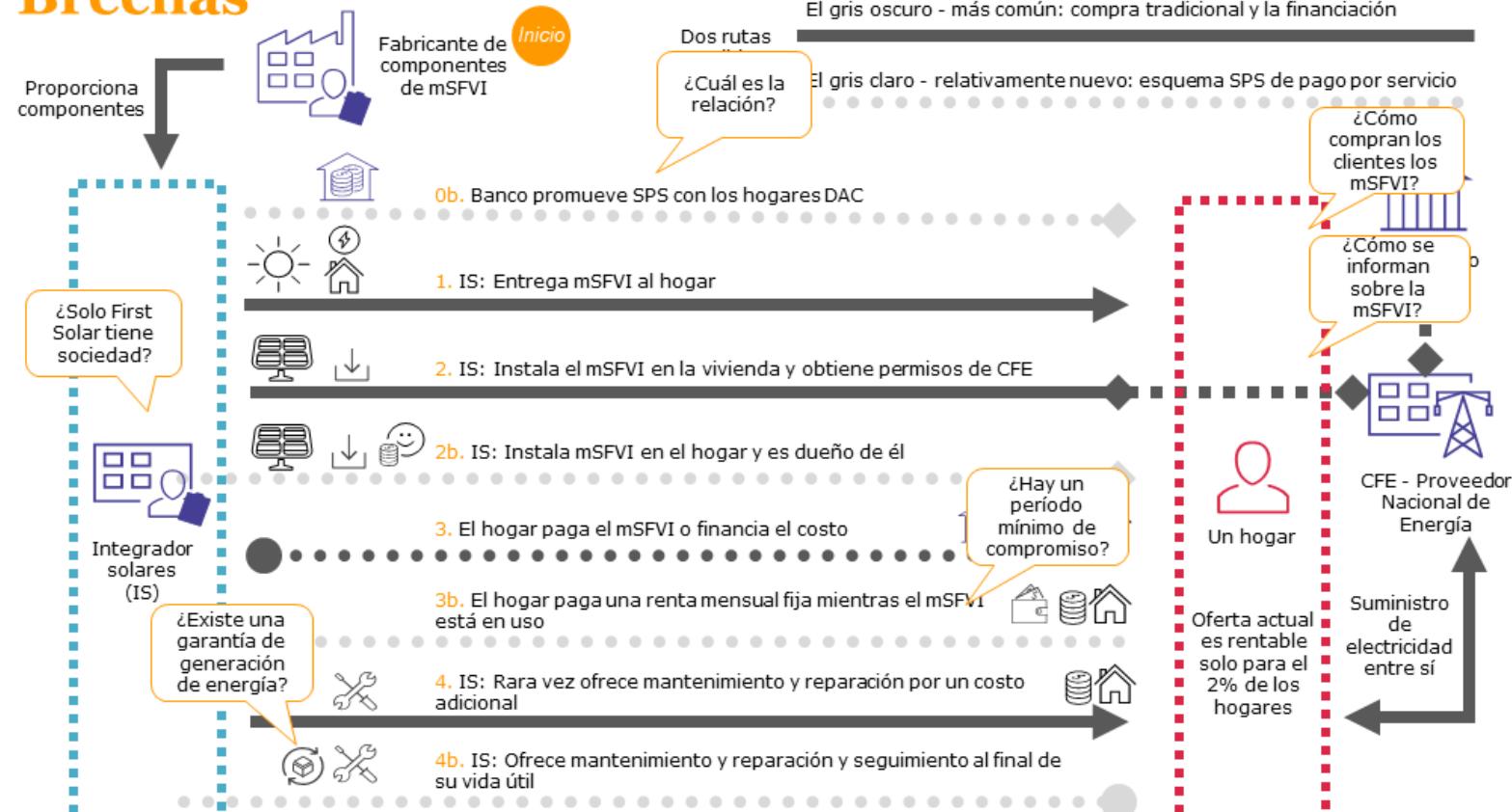


Figure 17. Map of the current system in the ZMVM.

## Mapa del sistema actual de los mSFVI en la ZMVM – Brechas



**FLUJOS** Información .....◆ Laboral —◆ Financiero .....● Materiales —→

Propiedad del sistema de GD

Asociación de proveedores

Figure 18. Map of the information gaps of the current system in the ZMVM.

## Mapa del sistema deseado de los mSFVI PnP

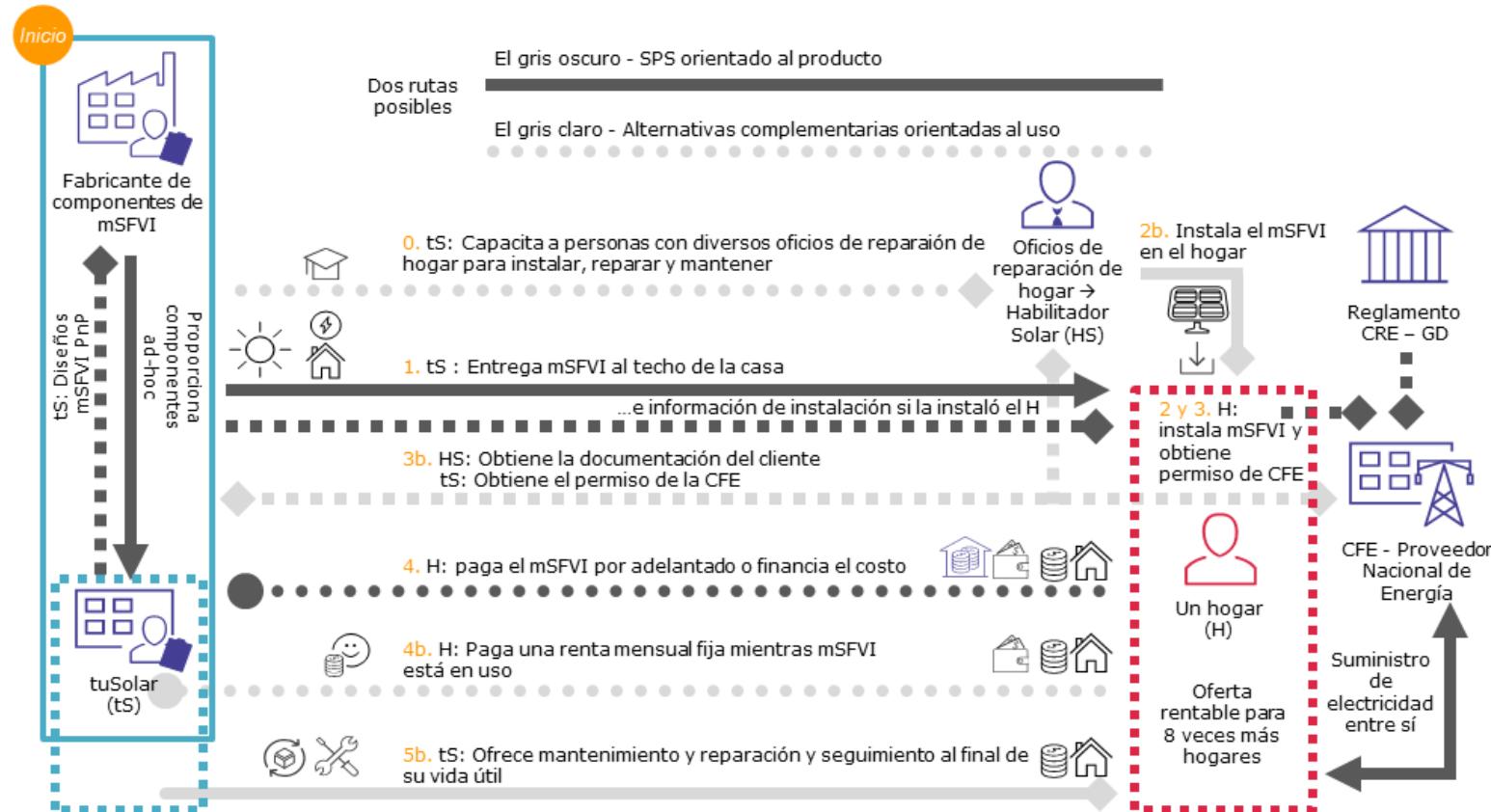


Figure 19. Map of the desired system in the ZMVM

## Mapa del sistema deseado de los mSFVI PnP – Brechas

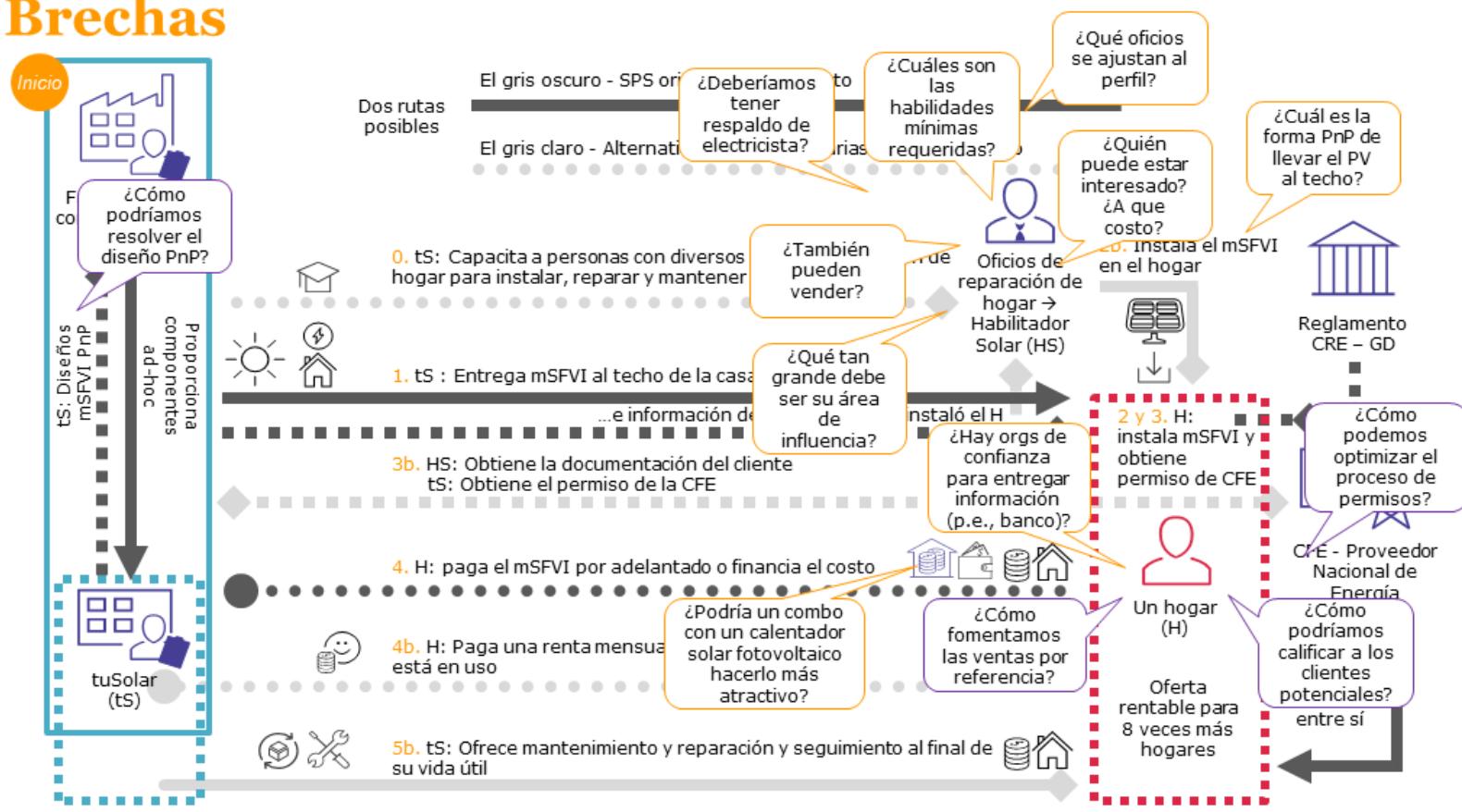


Figure 20. Gaps in the map of the desired system in the ZMVM

### 6.3.2. Concept Description Form

In the following Concept Description Form in Figure 21, the service and the end user are outlined in greater detail (Vezzoli et al., 2018). The definition of the CES user who can purchase the product as one who pays more than \$250 per month for electricity and the user who can pay for the service for making use of the mSFVI-PnP as one who pays more than \$500 per month for electricity stands out. The former has a disbursement of less than \$15,000 pesos in cash or \$5,000 with financing, with a payback period of less than 5 years. The latter, achieve a saving of 20% in their cost of electricity for a fixed payment of \$ 200 per month without initial disbursement.

## Formulario de descripción del concepto SPS&GD

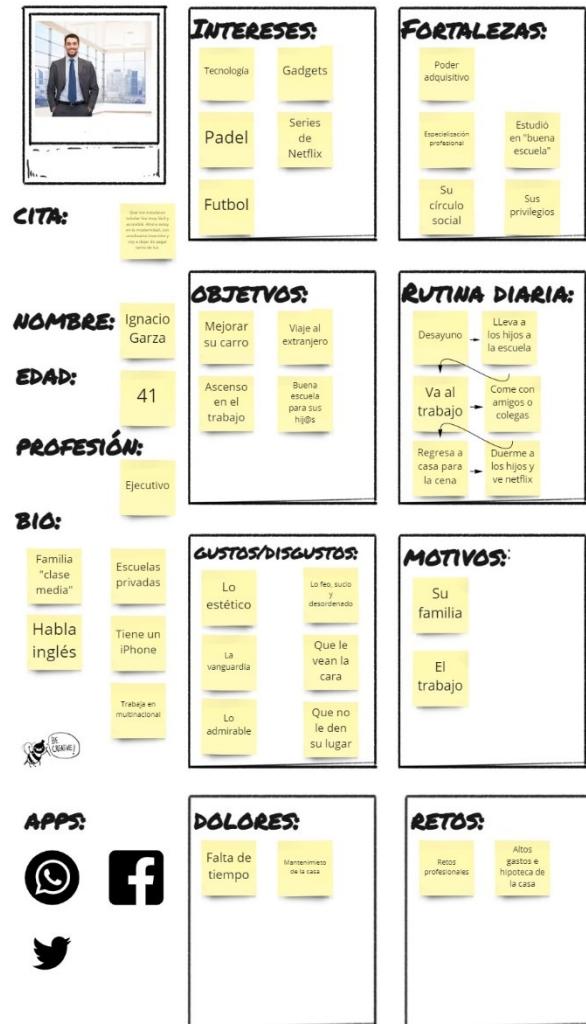
<b>TÍTULO DEL CONCEPTO</b>	<i>Micro sistemas solares fotovoltaicos domésticos interconectados a la red Plug-and-Play (mSFVI PnP)</i>	<b>PROVEEDOR</b>	<i>Fabricante de componentes mSFVI Habilitador Solar (HS) – opcional Proveedor de medios de pago/financ.</i>
<b>UNIDAD DE</b>	<i>Acceso a mSFVI PnP para generar cierta cantidad de electricidad limpia y ahorro al mes</i>	<b>CLIENTE</b>	<i>Usuarios residenciales que pagan más de \$250 MXP (OP) / \$500 MXP (OS) al mes en sus facturas de luz en la ZMVM</i>
<b>CONCEPTO DESCRIPCIÓN</b>	<p><i>Brindar electricidad limpia asequible a los usuarios domésticos que pagan la tarifa excedente en la ZMVM, a través de nuevos productos y acceso a un mSFVI.</i></p> <p><i>Dos opciones de compra:</i></p> <p><i>1) Orientado al producto (OP): Compra, por adelantado o financiado, un mSFVI PnP que se puede instalar con o sin asistencia externa.</i></p> <p><i>2) Servicio orientado a resultados (OR): Contrate un mSFVI instalado en su propiedad, pague mientras lo usa.</i></p>	<b>TIPO DE SPS</b>	<p><i>1) Orientado al producto (OP)</i></p> <p><i>2) Servicio orientado a resultados (OR)</i></p>
<b>DISEÑADOR-ES</b>	<i>Luis López Martinelli vía tuSolar (tS): Tecnología abierta</i>	<b>PRODUCTO OFRECIDO - DUEÑO</b>	<p><i>1) OP: mSFVI PnP – Propietario: hogar</i></p> <p><i>2) OR: Menor factura de electricidad más limpia – Propietario: tS</i></p>
		<b>SERVICIOS OFRECIDOS - PROVEEDOR</b>	<p><i>1) Permisos. Instalación y mantenimiento (HS - opcional)</i></p> <p><i>2) Permisos, instalación y mtto</i></p>
		<b>QUÉ SE PAGA</b>	<p><i>1) OP: Contado &lt; \$15k MXP Financiado &lt; \$5k MXP con recuperación en 5 años*</i></p> <p><i>2) OR: Cuota mensual &lt; \$200 MXP @ 20% ahorros</i></p> <p><i>*Para usuarios que paguen más de \$400 MXP al mes en su recibo de luz</i></p>

Figure 21. Concept Description Form

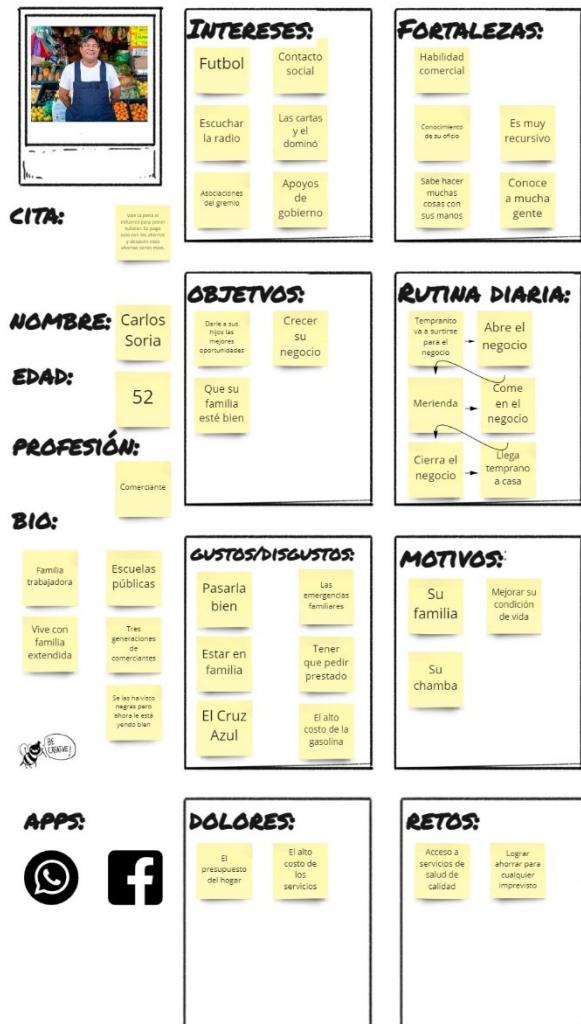
### *6.3.3. Person*

With the *Persona* tool (Stickdorn et al., 2011) four profiles were developed inFigure 22 andFigure 23. Three of CES user: high level of studies, low level of studies and advanced age, and one of a solar enabler. For each profile, their interests, powers, objectives, routines, likes/dislikes, motivations, pain points, challenges, technological skills, purchasing preferences, physical skills and intensity of relationship in their communities are identified.

## Nacho Garza - Ejecutivo avant garde



## Carlos: Abarrotero alegre y avispaido



## HABILIDADES TECNOLÓGICAS

cero experto

## COMPRAS

en persona en línea

## HABILIDADES DE TRABAJO FÍSICO

nulas habilidoso

## COHESIÓN COMUNITARIA

no conoce a nadie conoce a todo mundo

## HABILIDADES TECNOLÓGICAS

cero experto

## COMPRAS

en persona en línea

## HABILIDADES DE TRABAJO FÍSICO

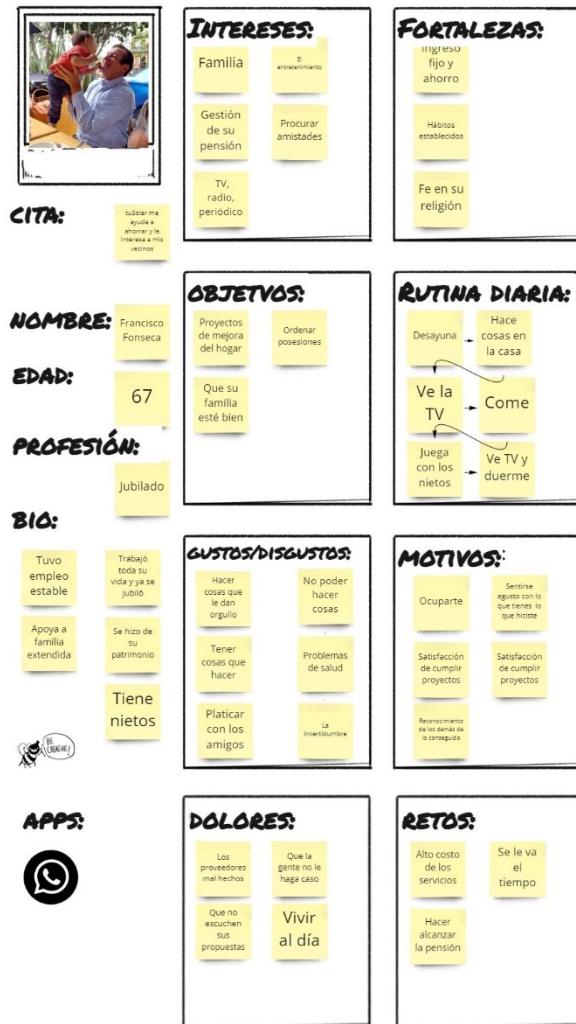
nulas habilidoso

## COHESIÓN COMUNITARIA

no conoce a nadie conoce a todo mundo

Figure 22. Person - CES User

Don Paco: Abuelo cuidadoso de su pensión

**HABILIDADES TECNOLÓGICAS**

cero experto

**COMPRAS**

en persona en línea

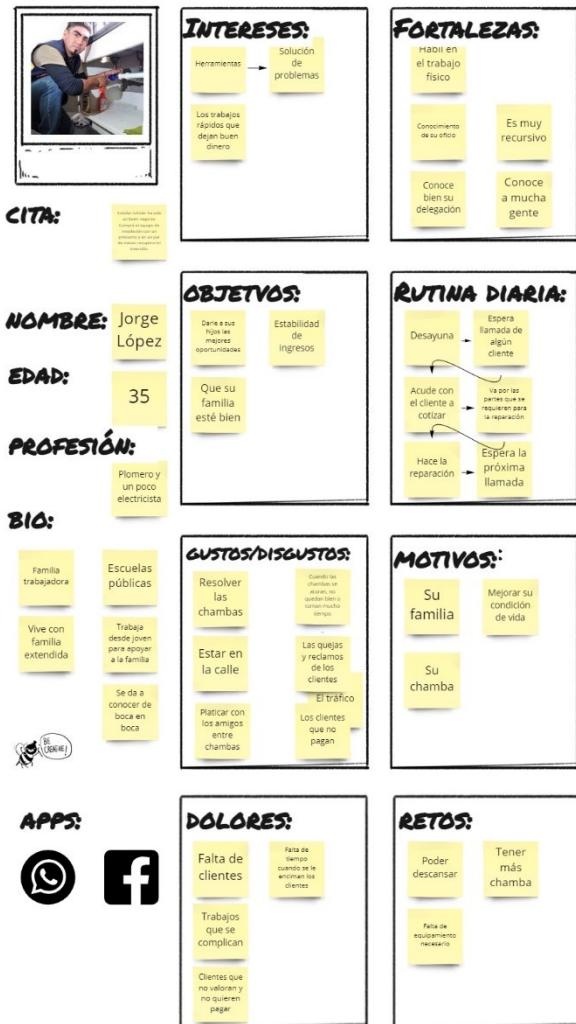
**HABILIDADES DE TRABAJO FÍSICO**

nulas habilidoso

**COHESIÓN COMUNITARIA**

no conoce a nadie conoce a todo mundo

Jorge: Mete mano para resolver

**HABILIDADES TECNOLÓGICAS**

cero experto

**COMPRAS**

en persona en línea

**HABILIDADES DE TRABAJO FÍSICO**

nulas habilidoso

**COHESIÓN COMUNITARIA**

no conoce a nadie conoce a todo mundo

Figure 23. Person - Elderly CES User and Solar Enabler

#### 6.3.4. User Journey Maps

The *user journey map* (Stickdorn et al., 2011) of the CES user in Figure 24 follows the user's journey from the time he knows about the SPS to its use, identifying the activities that the user performs at each step and highlighting the points of pain, opportunity and contact.

From the CES user stands out as a trigger the relative feeling that you pay a lot for the light service and the concern about pollution. The user is characterized by his widespread ignorance of PV technology, although at the same time he has interest and openness to take advantage of the opportunity in a practical, reliable and simple way.

From the Solar Enabler in Illustration25 , the job search with greater stability stands out as a trigger, as well as the most personal points of contact. In the same way, the need for formality, good attention and service in the professionalization of the activity is identified.

Etapas	Conoce de tuSolar	Averigua más	Compra	Recepción e Instalación	Trámite con CFE	Uso y financiamiento
Actividades y tareas del usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se cruza con información de tS en redes sociales o escucha hablar de tS de algún conocido que está compartiendo su experiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Busca en el navegador por tS</li> <li>Accede a la página de tS</li> <li>Llena un formulario interactivo para ver qué tan bien tS le puede funcionar</li> <li>Ve videos del sistema y de instalaciones</li> <li>Ve y lee testimoniales de otros usuarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usuario decide comprar tS y <ul style="list-style-type: none"> <li>Si requiere instalación y gestoría</li> </ul> </li> <li>Elije si paga de contado, a MSI o financiamiento</li> <li>Contado/MSI: Puede pagar ahí con TC, MercadoPago o Paypal. También puede pagar en banco o sucursal de OXXO.</li> <li>Financiamiento: Enlace/API para calificación en RedSolar y cargos automáticos a tarjetas de débito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recibe una llamada de confirmación para afinar el día y hora de entrega, así como la mejor forma de llegar a la casa</li> <li>Recibe por correo electrónico/WA/App instrucción para el trámite de CFE o solicitud de documentos para la gestoría <ul style="list-style-type: none"> <li>Firma los documentos</li> </ul> </li> <li>Recibe entrega de tS en la azotea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recibe email/WA/App: confirmación de ingreso de trámite</li> <li>CFE acude a revisar acometida</li> <li>Recibe email/WA/App: firma de nuevo contrato</li> <li>CFE acude a cambiar el medidor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recibe email/WA/App: hora de encender tS y empezar a ahorrar!</li> <li>Comienza a monitorear</li> <li>Promueve para recibir mantenimientos/pagos gratis</li> <li>Realiza pagos bimestrales si compró tS a financiamiento o como servicio</li> </ul>
Puntos de dolor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Siente que paga mucho de luz</li> <li>Le preocupa la contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No conoce términos técnicos</li> <li>Tiene poco tiempo</li> <li>Debe determinar si la tecnología y el proveedor son confiables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procesos de compra largos, inestables e inseguros.</li> <li>Contratos largos y complicados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La impuntualidad en los tiempos de servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incertidumbre en los tiempos y calidad de servicio de CFE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas de desempeño y funcionamiento</li> </ul>
Puntos de oportunidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dar a conocer que existe una solución atractiva justo para personas como el</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicar clara y sencillamente</li> <li>Crear confianza</li> <li>Mostrar respaldos, certificados, testimoniales, garantías</li> <li>Imagen limpia, profesional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Términos simples y claros</li> <li>Vendedores muy conocidos y de buena reputación</li> <li>Facilitar el proceso, follow-up telefónico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puntualidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar buena relación con las delegaciones de CFE y especialización</li> <li>Transparencia y API al sistema de CFE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo remoto</li> <li>Avisos automáticos en la app/WA</li> </ul>
Puntos de contacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Publicidad en redes sociales <ul style="list-style-type: none"> <li>Participación en grupos</li> <li>SEO en Google</li> <li>Conocidos</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitio WEB en PC y móvil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitio WEB en PC y móvil</li> <li>Sitios de vendedores y aliados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Llamada</li> <li>Email/WA/App</li> <li>Sitio WEB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Email/WA/App:</li> <li>Personal de CFE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>App/WA</li> </ul>

Figure 24. User Journey Map - USER CES

Etapas	Conoce de tuSolar	Averigua más	Compra	Recepción e Instalación	Trámite con CFE	Uso y financiamiento
Actividades y tareas del usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se cruza con información de tS en redes sociales, asociaciones gremiales o barriales, o escucha hablar de tS de algún colega que está compartiendo su experiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se comunica por teléfono con representante de tS</li> <li>Recibe información básica y un video por WA</li> <li>Representante de tS recibe recomendaciones de los milusos existentes           <ul style="list-style-type: none"> <li>Reciben bonos si se incorpora algún recomendado</li> </ul> </li> <li>Auto-selección o nominación para siguiente paso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación en persona grupal</li> <li>Juegos de rol</li> <li>Se crean parejas, un entrenador con una nueva persona de la zona</li> <li>Tres meses de acompañamiento, ciertos días de la semana           <ul style="list-style-type: none"> <li>Periodo pagado</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HS puede tener su propia unidad, se le da financiamiento para adquirir unidad/equipamiento necesario.</li> <li>HS puede asociarse para operar una unidad entre varios HS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HS recibe oportunidad de instalación a la cual se tiene que nominar vía APP           <ul style="list-style-type: none"> <li>MU revisa lugar de instalación y fecha requerida</li> </ul> </li> <li>HS recoge el tS de bodega, lo entrega y en su caso lo instala en la vivienda</li> <li>HS recoge documentos firmados para gestoría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HS promueve tS para recibir más instalaciones y bonos de venta           <ul style="list-style-type: none"> <li>Con clientes que atiende en sus servicios de plomería, electricidad, mtto, vecinos, etc.</li> </ul> </li> <li>HS promueve el ser tS con otros colegas para recibir bonos</li> <li>HS recibe solicitudes de mantenimiento</li> </ul>
Puntos de dolor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buscan más chamba constante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Información y dinámicas fáciles de entender</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo y compromiso con el proceso de capacitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Endeudamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formalidad en el proceso de entrega e instalación</li> <li>Atención puntual de parte del cliente</li> <li>Facilitación del cliente para la instalación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Propuesta o dinámica muy difícil de entender</li> </ul>
Puntos de oportunidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover chambas sencillas, estables y bien pagadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicación clara, sencilla y empática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar a los mejores HS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afianzar compromiso y estándar de atención</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crear una imagen e instalación que genere referencias</li> <li>HS tiene preferencia de instalación en clientes referidos por sus instalaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplicidad en el esquema de referidos</li> </ul>
Puntos de contacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Publicidad en redes sociales           <ul style="list-style-type: none"> <li>Participación en grupos</li> </ul> </li> <li>SEO en Google</li> <li>Colegas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Llamada</li> <li>WA</li> <li>Colegas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrenamiento grupal</li> <li>Periodo de acompañamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proveedor y montaje de equipamiento en taller tS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>App</li> <li>Bodega</li> <li>Cliente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>App</li> </ul>

Illustration25. User Journey Map - Habilitador Solar

### 6.3.5. Service Blueprints

Service *blueprints* are a tool for the design and management of service processes in which the sequence of steps required to perform the service is described in a two-dimensional way (Kostopoulos et al., 2012). For the project, the *blueprints* are currently divided into 3 stages. For the CES user in purchase, installation and use inFigure 26, Figure 27 andFigure 28, respectively; for the solar enabler user in incorporation and training, installation and after-sales inFigure 29, Figure 30 and Figure 31 respectively. In the process of iteration and participatory design, these stages can be subdivided to reach the required level of detail.

In the purchase, the CES user interacts mainly through the WEB site, although there is the possibility of having contact via chat or phone call with an agent who can solve doubts or take the user by the hand to make the purchase. Even for those users who are not used to making purchases or payments online, there is the option of making the purchase by phone and payment in a physical branch of a payment processing provider such as convenience stores and self-service.

During the installation and use process, the CES user uses a mobile application as the main tool. Through it, the installation is scheduled, the installer is identified, its performance is qualified and the interconnection process with the CFE is monitored. Subsequently, through the mobile application, the use of the mSFVI is operated, being able to turn it on / disconnect it, receiving notifications of operation, failures, maintenance and having the possibility of referring or sharing with their acquaintances the savings obtained.

The route for the incorporation of the solar enabler uses direct means of communication such as the telephone and WhatsApp. The training is carried out in person, reinforcing the learning with an accompaniment scheme in which the apprentice accompanies in his functions a trained multipurpose. This allows the performance of the functions of the solar enabler unit, which requires two people, and completes the training cycle. Once formed, solar enablers may choose to equip a unit so that it can make rooftop deliveries.

The installation and after-sales are managed with a mobile application, which gives the opportunity to the different solar enabler units to accept / reject services, in addition to supporting them in the logistics and practical management of the performance of their functions, creating routes and providing *checklists* that must be answered and attached photos to complete the services.

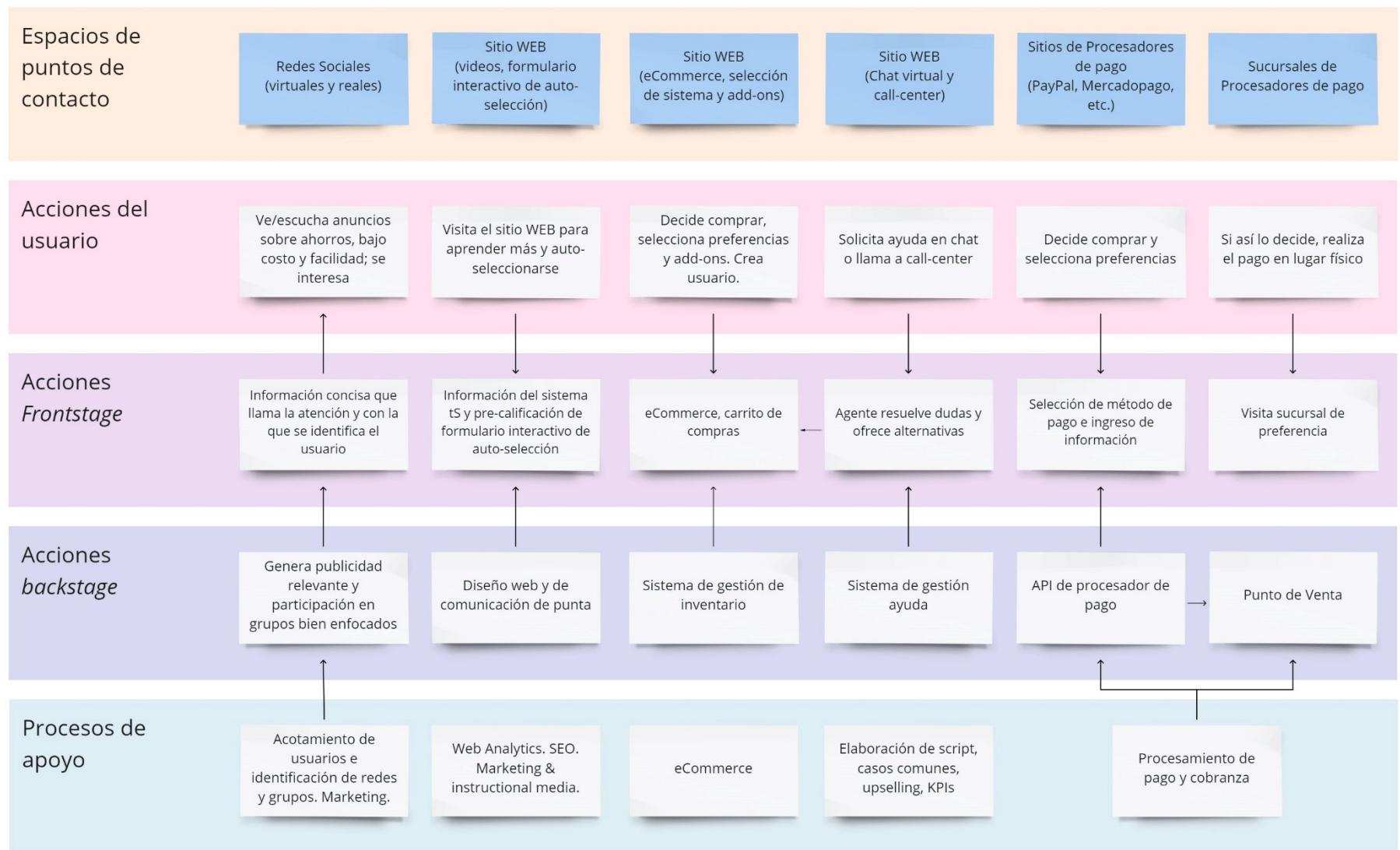


Figure 26. Service Blueprint - CES User - Purchase

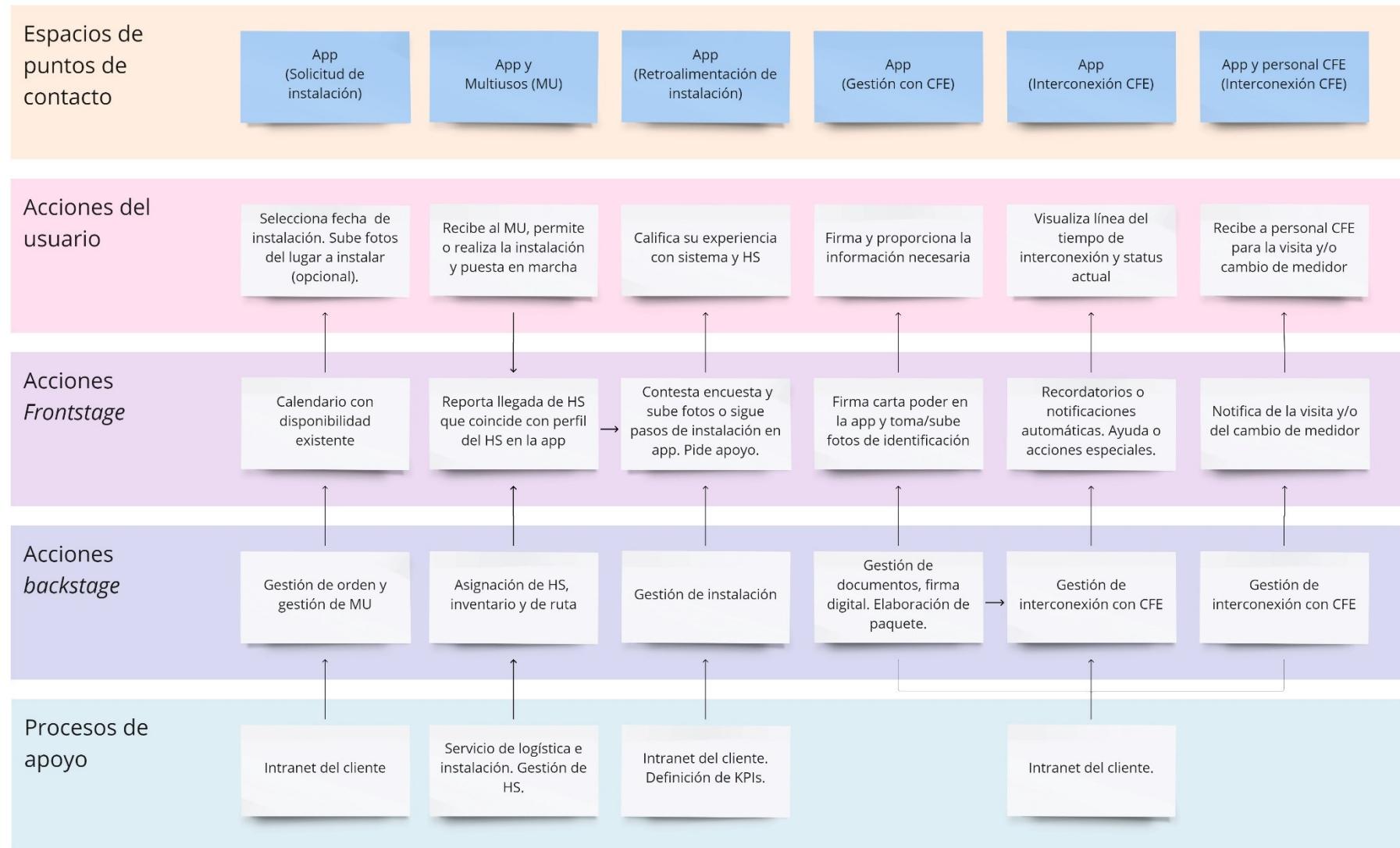


Figure 27. Service Blueprint - CES User - Installation

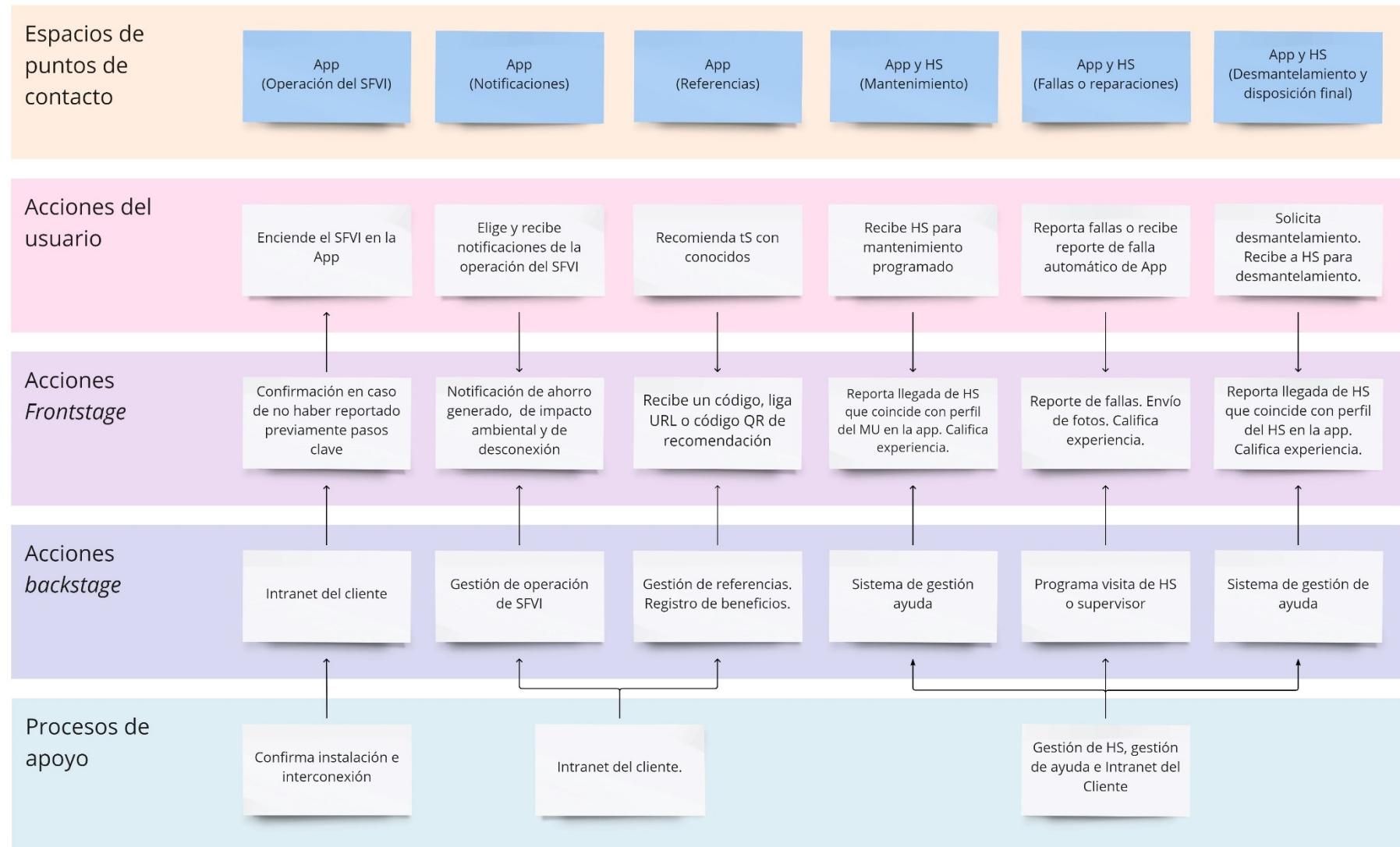


Figure 28. Service Blueprint - CES User – Usage

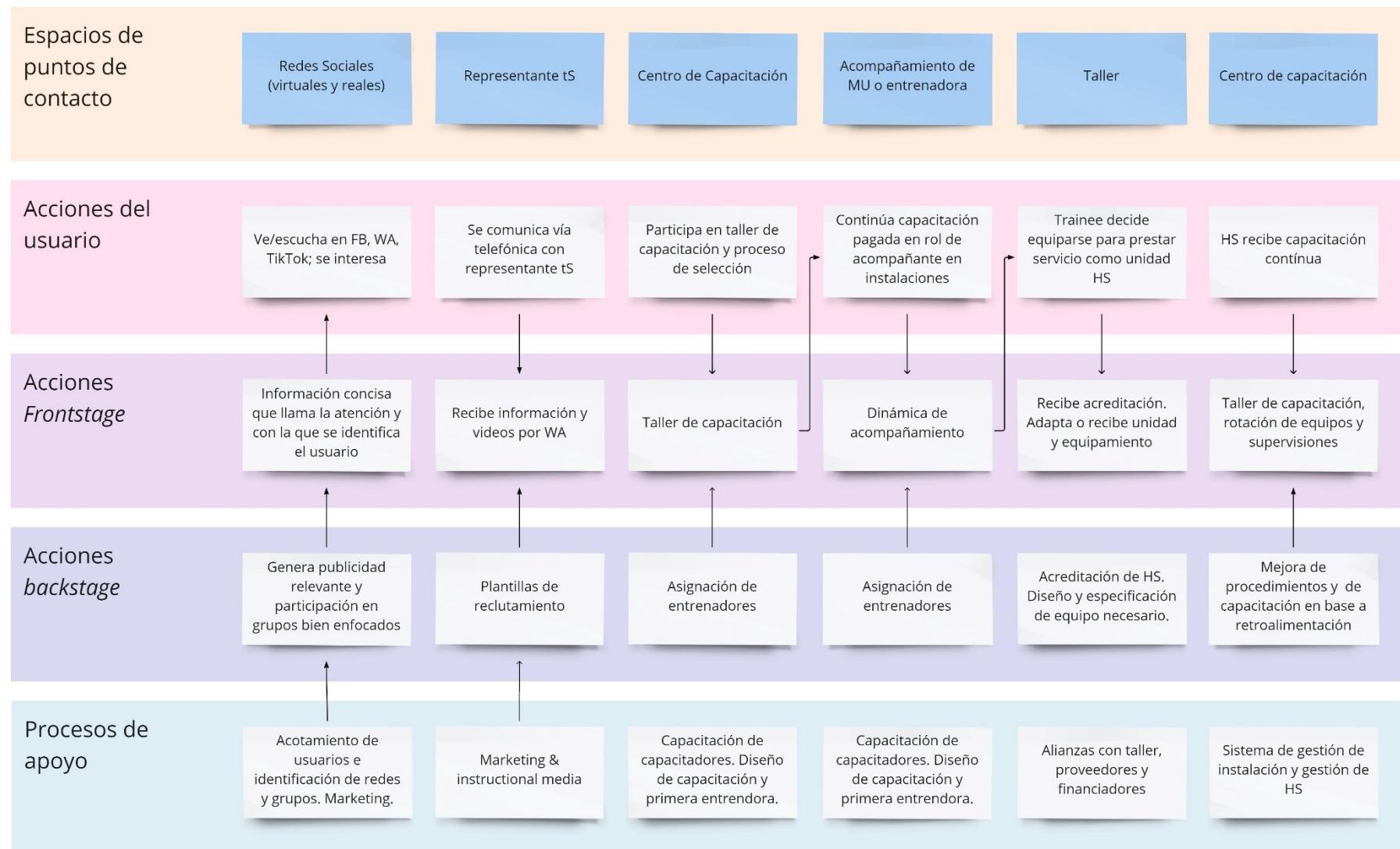


Figure 29. Service Blueprint - Solar Enabler User – Onboarding and Training

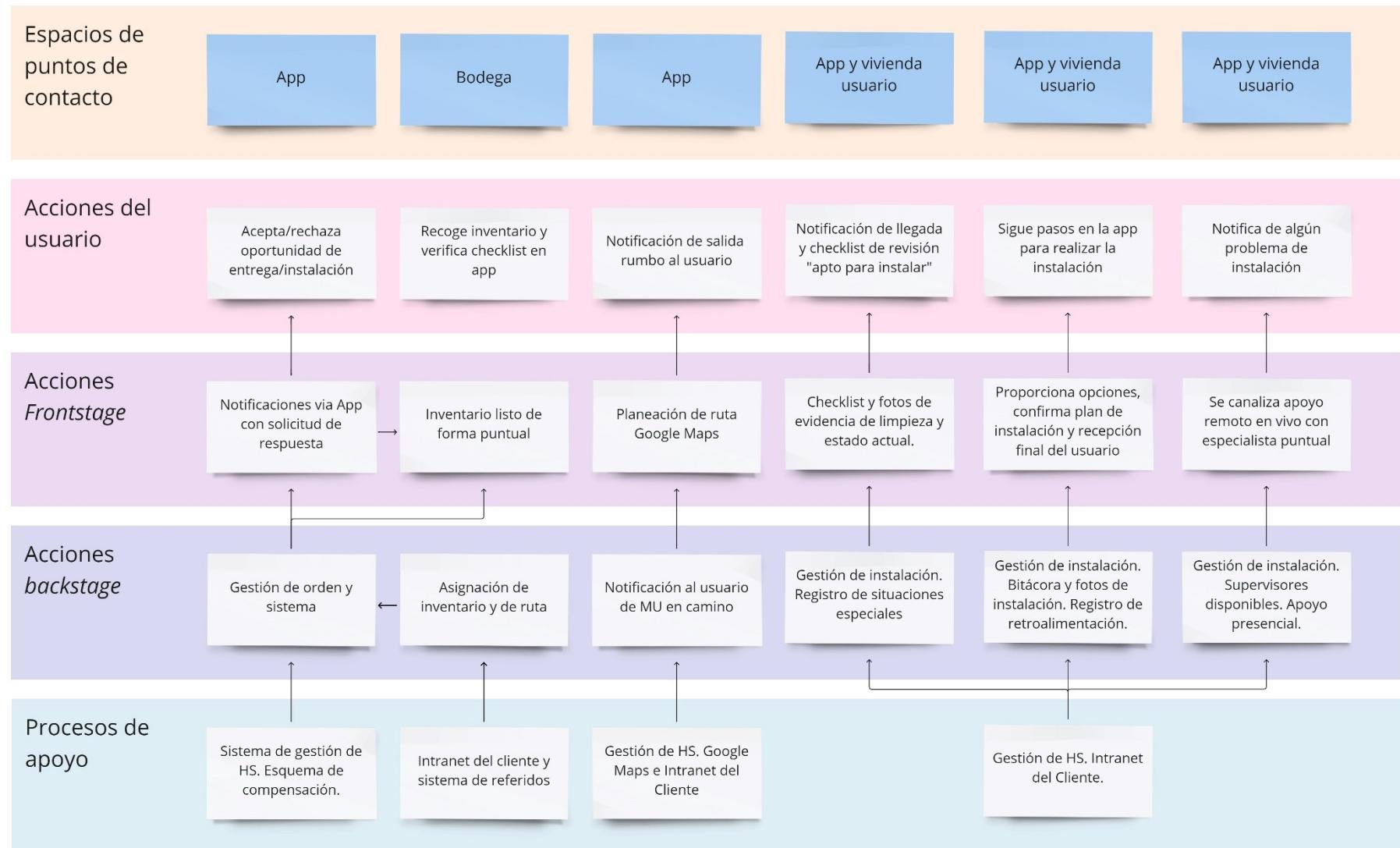


Figure 30. Service Blueprint - Solar Enabler User – Installation

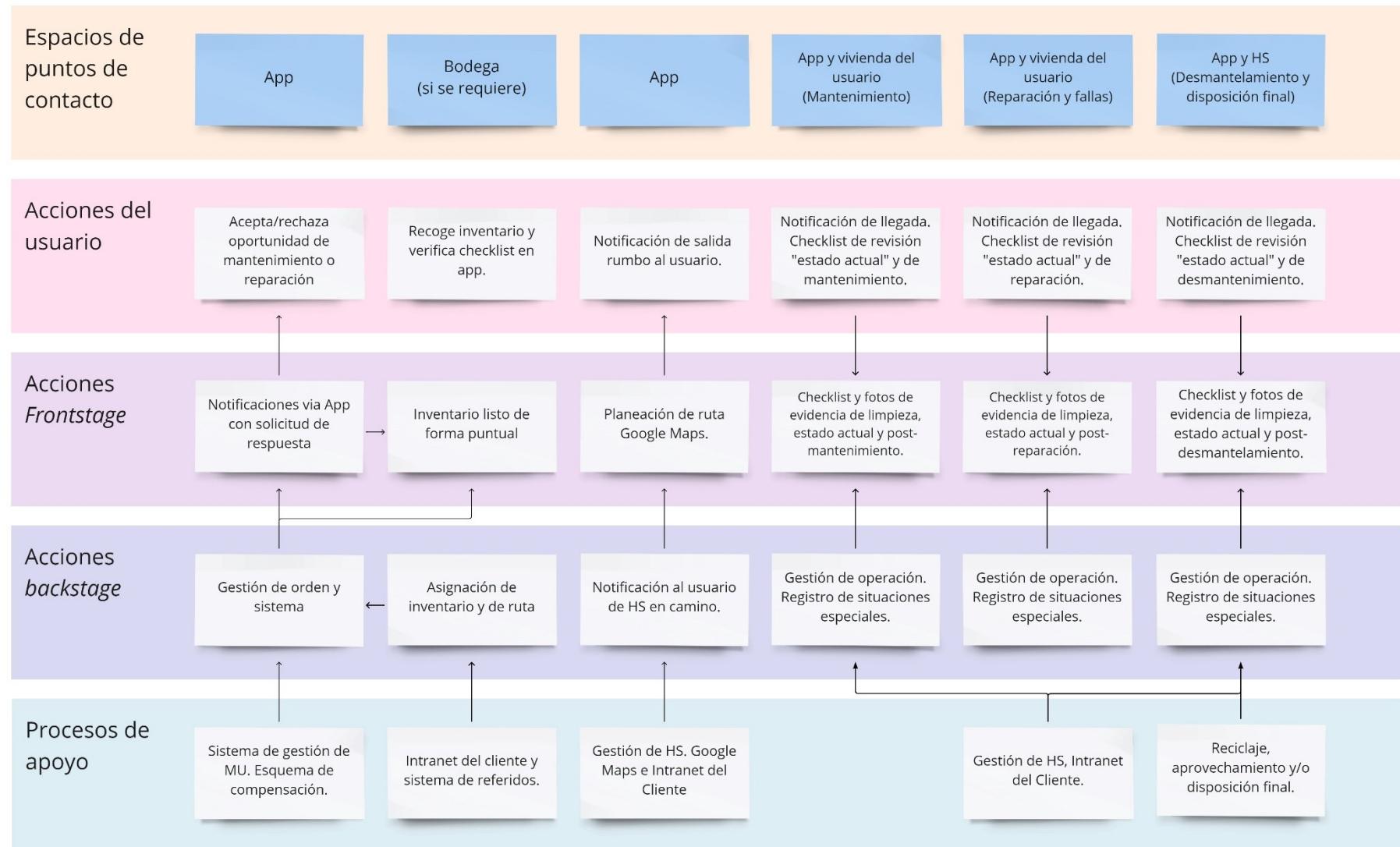


Figure 31. Service Blueprint - Solar Enabler User – After-Sales

#### 6.4. Participatory design workshop with experts



Figure 32. Final state of the Miró board used in the workshop.

The SPS outline in the form of a service *blueprint* and product specifications allowed for a *design brief* and design questions to be explored in a participatory design workshop, as illustrated in Figure 5. On November 17, 2021, the participatory workshop was held with experts from the photovoltaic industry and design experts. In the workshop with a duration of two hours and a virtual format, a *design brief* and specifications were presented, as well as the objective and design questions to be addressed.

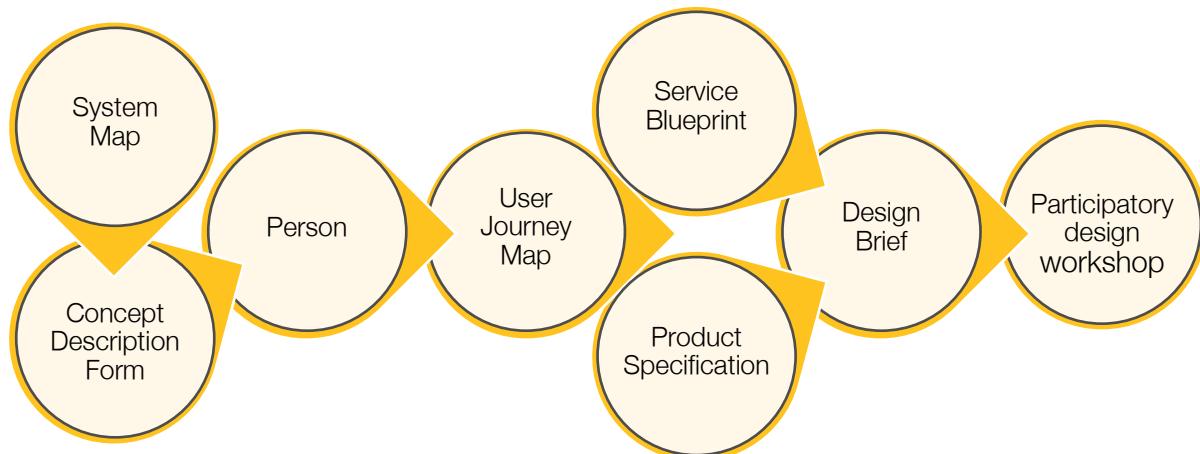


Figure 5. Methodological critical path to reach the Participatory Design Workshop

#### 6.4.1. Participants

Participants were divided into two groups, seeking a mix of fields of expertise and gender. The list of participants can be seen in Table 4.

Table 4. Workshop participants and facilitators

Role	Person	Specialty
Facilitator	Miguel Aznar	Facilitation of participatory workshops
Participant 1	Jorge Tenorio	SFVI, Institute of Renewable Energies UNAM
Participant 2	Julian Covarrubias	Industrial Design and Renewable Energies
Participant 3	Aideé Zamora	SFVI, Sales and Renewable Energies
Participant 4	Luis Lopez Martinelli	SFVI, Social Entrepreneurship and Design
Participant 5	Claudia Gonzalez	SFVI, Coparmex
Participant 6	Vanessa Sattele	Product Design
Facilitator	Tania Ziaral	Facilitation of participatory workshops
Facilitator	Tonatzy Hernandez	Facilitation of participatory workshops
Coordination	Sandra Molina	Facilitation of participatory workshops

#### 6.4.2. Design brief and specifications

The experts had access to the *design brief* prior to the workshop, in addition to being presented at the beginning of the session. The first sheets present the context from which the project emerges, then present the CES user, the objective specifications and desirable features and finally the design questions. The full *design brief* can be found in the annexes to this report while the specifications can be found below in Figure 33, Figure 34 and Figure 35.

### Especificaciones objetivo del SFVI PnP: 1/2



Costo de fabricación \$10,000

- 25% margen operativo integrador
- Precio objetivo al público \$15,000 con IVA



Producción de 80 a 100 kwh por mes

- Se puede lograr con dos paneles FV de ~400w
- Un micro-inversor de 700w



15 – 45 min para izado a azotea de dos niveles e instalación

- Instalación sin uso de herramientas

10

Figure 33. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.

### Especificaciones objetivo del SFVI PnP: 2/2



25 – 50 años de vida útil en sus componentes



Resistencia a vientos de 110 a 180 kmh



Conexiones a prueba de error



20 – 25 kg de peso máximo a izar por persona

11

Figure 34. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.

## Otras características deseables



- Mecanismo para fácil deslizamiento sobre el suelo en una de las caras del SFVI
- Apoyo para visualizar la trayectoria solar en los equinoccios
- Mecanismo de desconexión remota o pago por uso
- Compatibilidad para aseguramiento físico antirrobo del SFVI
- Extensión de interconexión con clavija AC versátil para rango de longitud
- Alternativas de anclaje mecánico
- Insertable en el espacio muerto del embalaje de los paneles solares en pallet

### Desglose de costos

Concepto	Unidades	Valor margen
Costo máximo USD/w del MFV	USD/w	0.27
Costo máximo de los MFV	USD	208
Costo máximo microinversor de 700wp y sus conectores de línea	USD	180
Costo máximo del BOS	USD	25
Costo máximo de estructura	USD	62

12

Figure 35. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.

### 6.4.3. The objective

The workshop had the following objective:

1. Make design proposals that meet the specifications of the Plug and Play Interconnected Photovoltaic System (SFVI PnP)
  - 1.1. Design concepts for fast, easy and safe installation that does not require the use of tools
  - 1.2. Design concepts to be able to move, load and lift the system in a practical and safe way

### 6.4.4. Design Questions

Each group sought to answer the following design questions:

1. How could we achieve a quick, easy and safe installation that does not require the use of tools?
  - 1.1. How could we make the SFVI withstand gusts of the wind?
  - 1.2. How could we make the system connection error-proof?
2. How could we make moving, loading and lifting the system practical and safe?

## 2.1. How could we make the system easy to climb to the roof?

### 6.4.5. Results

The direct results of the workshop are the answers to design questions in the form of design concepts. In its cluster, a design proposal can be articulated with the combination of several of them.

In addition to the design concepts, some *insights* were identified that can inform the potential solution to the design problem.

#### 6.4.5.1. Design concepts

Table 5 presents the design concepts proposed in the workshop, grouped by a thematic classification made by the facilitators in a post-workshop session recorded in Figure 36.

Table 5. Design concepts

Classification	Subclassification	Concept
Usability	Modular	Smaller, lighter parts
Error-proof	User stratification	Kit B for extreme situations
Error-proof	Connections	Prefabricated single connections
Error-proof	Interaction	Monitoring app: Alert of lack of operation, maintenance reminder, request help and be able to share generation on social networks
Information and instructions	Instructions	Video instructions and Tik-Tok / YouTube
Information and instructions	Information	Cultural activation and curious facts of photovoltaic energy
Collocation	Existing anchorage	Tinaco as an existing anchor
Collocation	Counterbalance	Water as a counterweight
Safety	From the installer	Training to identify medium voltage cables
Safety	From the user	Provide for ease of maintenance with the use of counterweight water
Displacement	Specialized	Delivery is made on the rooftop (meeting certain prerequisites)
Displacement	Vertical	Lifting system incorporated into the delivery vehicle
Displacement	Vertical	Specialized system or ladder with pulleys

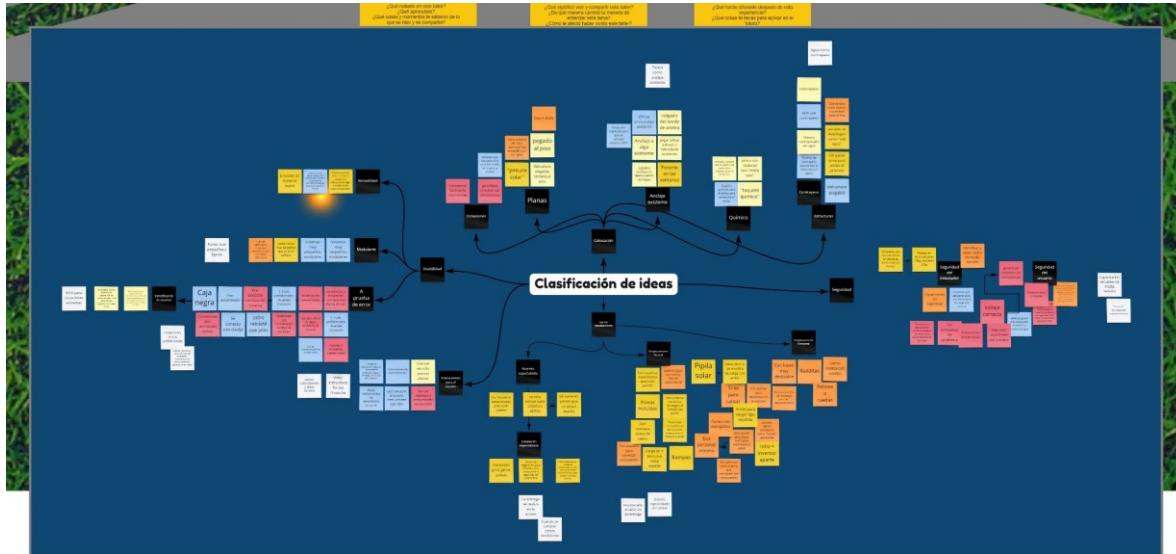


Figure 36. Section of Miró's board where ideas are grouped and concepts are formed.

#### **6.4.5.2. Insights**

As a result of the workshop, the *Insights* Table 6.

*Table 6. Design Insights*

Activity	Insight (findings or learnings)
Delivery	Delivery may include uploading SFVI PnP to its destination, as is already the case with deliveries of washing machines and refrigerators.
Delivery	A simple crane could be designed in the delivery vehicles, so that the SFVI could be practically climbed. Or they could achieve this through a telescopic ladder with a lifting mechanism.
Installation	Counterweights can be used, along with an anchor and pulley, to lift MFVs without much effort. Subsequently, you can climb the counterweights one by one.
Installation	If you choose to hoist with rope, you require a device that prevents friction of the rope with the façade and that separates the SFVI from the façade when climbing. It could be a tube/strip through which the rope runs and makes it protrude a few cm from the façade, with a curved end to avoid the wear of the rope, or a termination that leads to the anchor and has at the tip (a few cm from the façade) the pulley to be used.
Installation	If you choose to hoist with rope, a second place of fastening is required for a second rope that is used to separate the hoisting from the façade and avoid turns with the air
Usability	Usability can focus on two users. Installation by HP or installation by end user.
Installation	A smaller angle requires less counterweight, although there are small losses due to orientation.

Installation	The modular installation should avoid becoming a puzzle, indicating very clearly the steps and shapes.
Operation	The user requires a way to know that the SFVI PnP is working. It can be via App, witness, meter, etc.
Maintenance	If a water counterweight is used, could water from the same container be used for cleaning and maintenance?

Finally, solutions are outlined through two possible ways:

1. Rooftop delivery service including specialized hoisting
2. Lighter or more modular system that does not require a specialized rooftop hoist

#### 6.56.6

### 6.5. Rooftop delivery

The rooftop delivery service that includes the specialized hoist is based on systems designed for hoisting to the roof. The first task therefore is to analyze the existing analogues that can perform the work, as shown below with costs reported in November/December 2021.

1: Entrega en la azotea – Análogos



Grúas de Canastilla/Electricista

- Varios
- Costo: \$17,000 USD



Fuente: Machinery Hunters



Figure 37. Analogues for rooftop delivery

### 1: Entrega en la azotea – Análogos



Grúas de Canastilla/Electricista

- Varios
- Costo: \$500 + gasolina
  - Incluye traslado, operador, maniobrista



Fuente: Mercedolibre

7

Figure 38. Rooftop delivery analogues

### 1: Entrega en la azotea – Análogos



Geda Solarlift

- Alemana
- Costo: 6.570 € (+ envío e importación)
- Altura: 16m



Fuente: Geda Solarlift

8

Figure 39. Rooftop delivery analogues

### 1: Entrega en la azotea – Análogos



Geda Solarlift

- Alemana
- Costo: 6.570 € (+ envío e importación)
- Altura: 16m



 Muy caro

Fuente: Geda Solarlift

9

Figure 40. Rooftop delivery analogues

### 1: Entrega en la azotea – Análogos



MB Usibombas

- Braileiro
- Costo: \$4,500 USD (+ envío e importación)
- Altura: 20m



Fuente: MB Usibombas

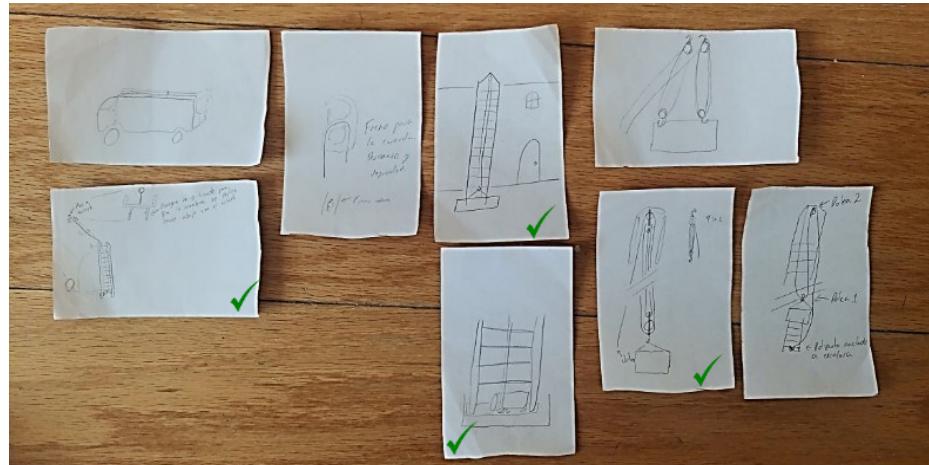
10

Figure 41. Rooftop delivery analogues

The analysis of analogues highlights that vehicles with basket can be difficult to operate in narrow streets, roofs distant from the road or with the presence of wiring, in addition to their high cost. Alternatively, ladder-based models are more versatile and less expensive. Therefore,

the Ken's Karpentry model is taken as the base model and from it some design proposals are sketched in Figure 42.

### 1: Entrega en la azotea – Bosquejos



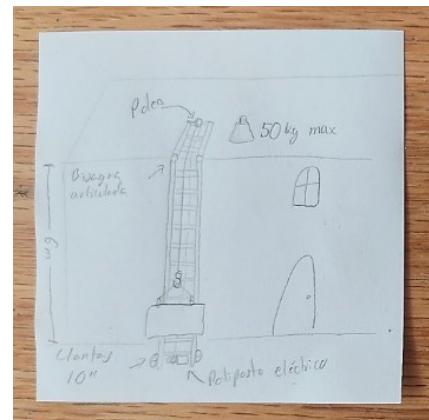
13

Figure 42. Design sketches for rooftop hoisting

### 1: Entrega en la azotea – Specs y conceptos



- Operado por polipasto/winch a 110v
- Llega a 2+ pisos
  - 7.3m de altura
- Sube el SFVI completo en una maniobra
  - Capacidad min de ~50kg
- Se favorece la escalera mecanizada al ser más versátil
  - Polea: Requiere mucha distancia de cuerda
  - Grúa: Accesos complicados y mayor costo



14

Figure 43. Design Specifications for Rooftop Hoisting

The final proposal, included in Figure 43 is based on the use of an electric hoist at 110v with a range of 7.3m sufficient for a two-level dwelling and load capacity to hoist the SFVI in a maneuver. The cost and time of development is shown in Figure 44.

### 1: Entrega en la azotea – Adecuación de elevador de escalera DIY



Costos y tiempos de desarrollo

Materiales	Características	Costo	Días requerido	Peso [kg]	URL
Escalera	Alt max 7.3m. Carga max 90kg. Peso 15.2kg. Medida plegada 3.7kg.	\$3,544	5	15	<a href="#">URL</a>
Polipasto eléctrico	Carga max 200kg. 110v. 20m de cable. 10kg de peso	\$2,500	5	10	<a href="#">URL</a>
Mosquetones	3/16 capacidad 100kg	\$200	5		<a href="#">URL</a>
Llantas	Dos llantas para diabloto de 10"	\$510	5	4	<a href="#">URL</a>
Eje de llantas	Espárrago de 60 cm, 3/8".	\$25	5		<a href="#">URL</a>
Diversos	Tuercas, etc.	\$100			<a href="#">URL</a>
Amarre de polipasto	Dos secciones de Abrazaderas de U	\$90	5		<a href="#">URL</a>
Bisagra para articulado	Cap peso 130kg. Acero galvanizado.	\$600	30		<a href="#">URL</a>
Fabricación					
Soporte superior	Fabricación artesanal de PTR	\$200	5		<a href="#">URL</a>
Armado	Armado de todas las piezas	\$300	2		
Total		\$8,069	12	29	
Para montar en vehículo					
Porta escalera		\$3,700	5		<a href="#">URL</a>

16

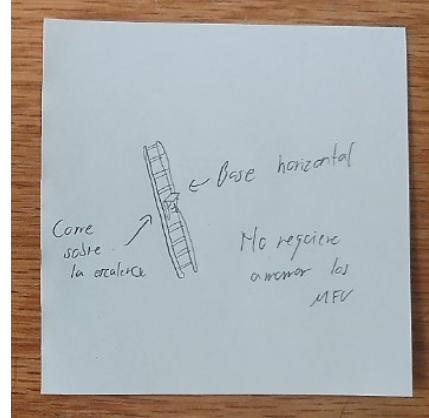
Figure 44. Cost and time of development of the proposal to hoist to whip

Finally, a potential area for improvement is identified with the use of skateboard and bearing (as some of the analogues do) to eliminate the use of carabiners and ropes, although this may increase the overall weight of the system.

## 1: Entrega en la azotea – Specs y conceptos



- En futuras iteraciones:
  - Posible uso de patineta con rodamientos
  - Vs. mosquetón y cuerda



15

Figure 45. Potential iteration for rooftop hoisting

### 6.6. Lightweight or modular design

According to one of the conclusions of the participatory workshop with experts, the first step is to explore the alternative of a lighter or modular system that does not require a specialized hoist to the roof.

Regarding the possibility of using lightweight MFVs, two different models are explored. The SUNO Ultralight and Sunmarc eARC described in Figure 46 and Figure 47, respectively. Both replace the glass of the MFV with an encapsulation, achieving a reduction of 70% of the weight. However, due to their high cost, none is viable for the target market of the present research.

To explore the possibility of using smaller MFVs, MFVs from 36 armed cells in Mexico described in Figure 48. These present a significant reduction in their weight. However, again because of their high cost, they are also not viable for the target user.

## 2: Componentes más chicos/**ligeros**– Suministro



### SUNO Ultralight

- Español
- Costo x Wp: Doble que c-Si convencional
- Tech: Encapsulado en polímero
- Peso: 70% menos (7kg x 375Wp)
- Medidas: 2m x 1m
- Instalación: Cinta doble cara



 Muy caro

Fuente: SUNO 19

Figure 46. MFV Lightweight SUNO Ultralight

## 2: Componentes más chicos/**ligeros**– Suministro



### Sunman eARC

- China
- Costo x Wp: 35% más que c-Si convencional (+ envío e importación)
- Tech: Encapsulado en compuesto propietario
- Peso: 70% menos (7kg x 375Wp)
- Medidas: 2.05m x 1.1m
- Instalación: Adhesivo



 Muy caro

Fuente: Sunman 20

Figure 47. Lightweight MFV Sunman eARC

## 2: Componentes más **chicos**/ligeros – Suministro



Solarvatio/Saecsa/Saya

- México
- Costo x Wp: Doble que c-SI de 72 celdas Tier 1
- Tech: MFV de 36 celdas
- Peso: 50% menos (10kg x 200Wp)
- Medidas: 1.6m x 0.7m
- Instalación: Convencional



 Muy caro

Fuente: Solarvatio 

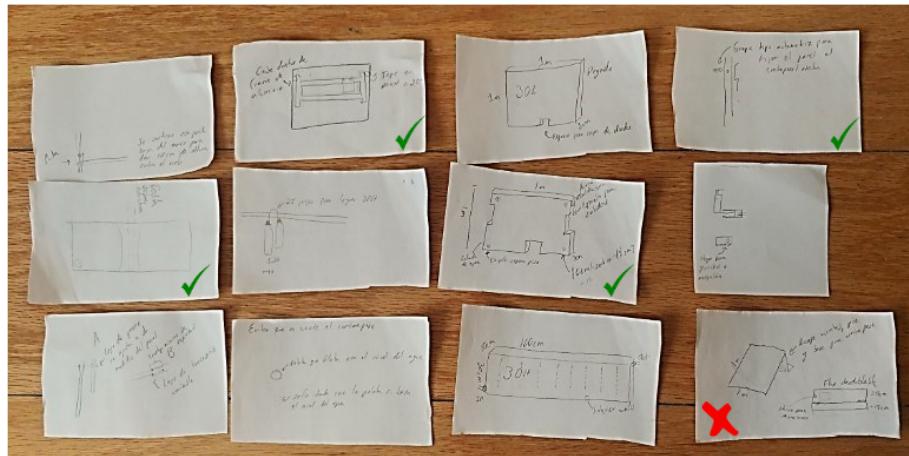
Figure 48. 36-cell MFV

High costs make this alternative unfeasible. Therefore, the solution is developed through delivery directly to the rooftop. Below is the design of an mSFVI-PnP for implementation in the SPS with rooftop delivery.

### 6.7. mSFVI-PnP Design

According to the defined specifications and following the design concepts that emanated from the participatory workshop with experts, the following design proposals are outlined in Figure 49 and Figure 50.

### Diseño de mSFVI PnP – Bosquejos



2x el presupuesto

25

Figure 49. mSFVI PnP Sketches

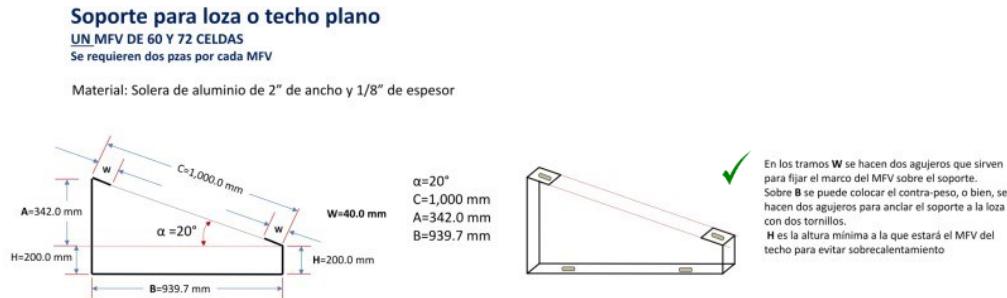
### Diseño de mSFVI PnP – Bosquejos Dra. Vanessa Sattele



26

Figure 50. Outlines of design concepts by Dr. Vanessa Sattele

## Diseño de mSFVI PnP – Diseño Dr. Aaron Sánchez



27

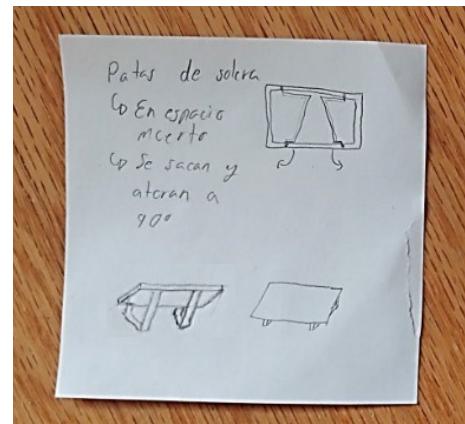
Figure 51. Design proposal of mSFVI PnP by Dr. Aaron Sánchez

From the proposals began the phase of coupling and validation of concepts to form a design proposal and develop a first prototype. To analyze the feasibility of the concepts, their cost and ease of reproduction were taken into consideration.

## Diseño de mSFVI PnP – Specs y conceptos



- Instalación sin uso de herramienta
  - Pre-ensamblado
  - Utiliza los agujeros de fijación de los marcos
- Contrapeso de 60 kg por MFV para resistir vientos de 130 km/h
  - Fijación mecánica con herramienta opcional para resistir hasta 200 km/h
- Aprovechar espacio muerto dentro del MFV (entre el panel y el marco)
- Inclinación de 10 a 20 grados
- Altura min de 10cm a 20cm para fomentar ventilación



28

Figure 52. Proposed design of first prototype.

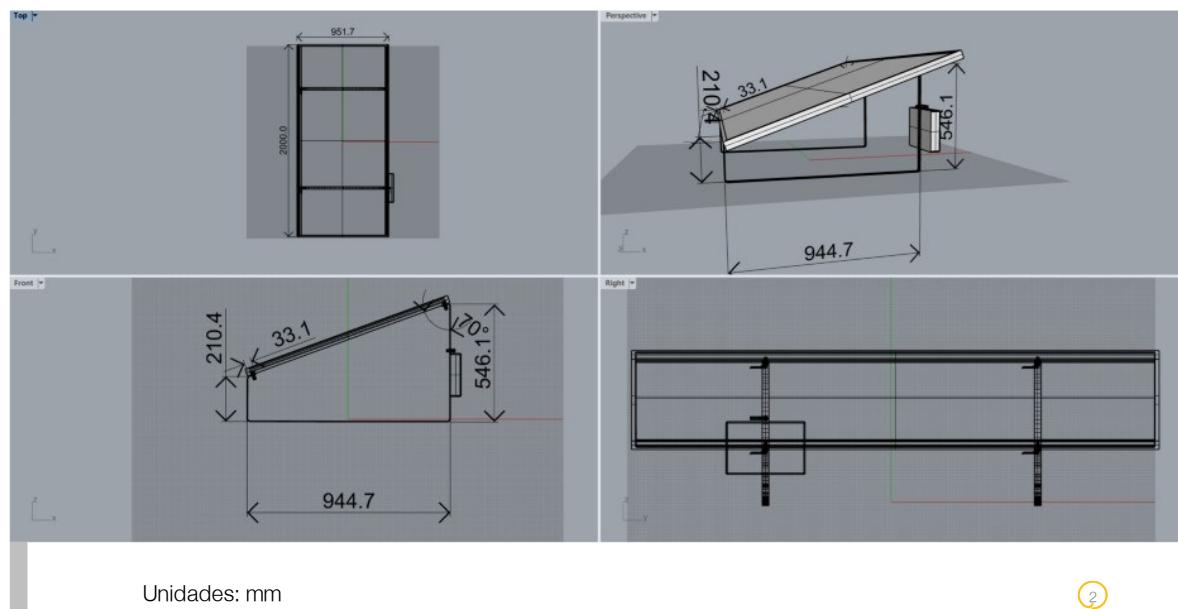


Figure 53. mSFVI PnP first prototype model

## Diseño de mSFVI PnP



### Costos y tiempos de desarrollo

Materiales	Características	Costo	Días requeridos	URL
2 soleras	1" x 1/8"	\$288		1 URL
4 bisagras	Por diseñar			
4 pernos	Por definir			
Rompevientos	Por diseñar y definir			
Contrapesos	Por diseñar y definir			
Sub-total		\$288		
<hr/>				
<b>Fabricación</b>				
Mano de obra	Asume toma 15 minutos cortar y doblar 2 soleras	\$14		1
Total		\$302		
Presupuesto restante		\$898		
<hr/>				
<b>Equipo para fabricar</b>				
Dobladora de solera	Fabricación artesanal de PTR	\$4,60C	5 URL	
Cizalla / sierra circular	Cortar solera de 1/8"	\$4,00C	5 URL	
Taladro de banco	Hacer perforaciones de 3/8"	\$2,50C	5 URL	
Total		\$11,10C		

Figure 54. Estimation of mSFVI PnP structure costs of the first prototype

The proposal presented in Figure 53 was developed and the first prototype was built. Two inclinations at 10 and 20 degrees were considered. Figure 55 presents the prototype made. The two variants presented a lot of movement, as can be seen in this [video](#) included in the digital repository. Another area of opportunity identified is that, ergonomically, the

installation is problematic because it requires the use of both hands to stop the nut and tighten the screw. Dr. Sanchez's original idea proposed 2-inch wide by 1/8-thick screed and alternatively 1-inch wide by 3/16 thick solera could be used to reduce the flexibility observed. Flexibility could perhaps be reduced with the use of diagonal tensioning cables and the use of two hands to tighten could be solved with car head screws.



Figure 55. Images of the first prototype, using solera.

Based on this experience, for the second prototype it was sought to use aluminum tubular material so that its same geometry contributes to the decrease in flexibility. The shape of the legs was also modified so that the last section is parallel at its junction with the MFV despite its inclination, which allows the legs to fold within the same geometry of the MFV. The

tubular legs are connected to the MFV with L-screeds and elongated perforations, which allows their use with MFV of various sizes. The screeds are attached to the frame of the MFV through the fixing holes with riveting nut or car head screws and are attached to the tubular leg with a bicycle saddle type lock that allows loosening and tightening without the use of a tool. The digital model of this design can be seen in Figure 56 and Figure 57, and the prototype in Figure 58 and Figure 59. The operation of the prototype can be seen in the [video](#) that is in the digital repository.

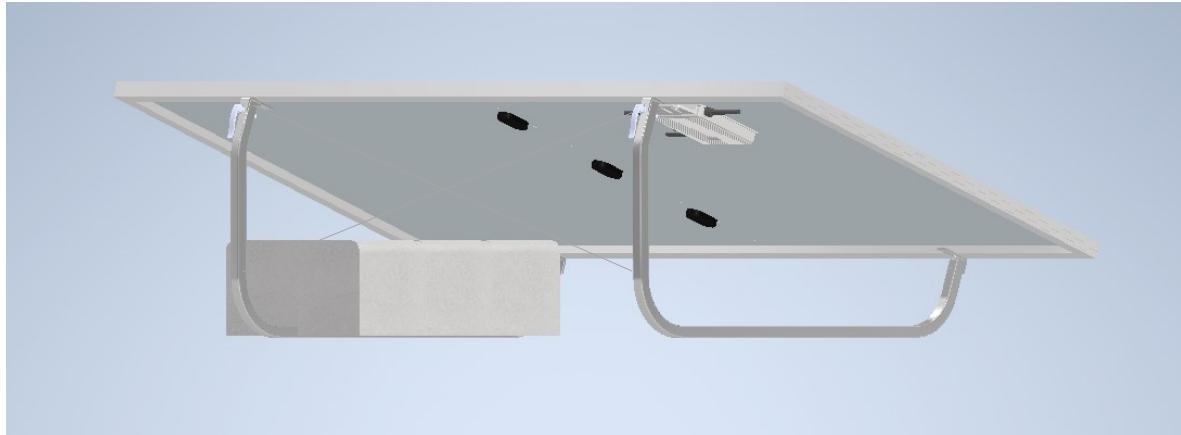


Figure 56. Second prototype with tubular leg, unfolded and with counterweight sample

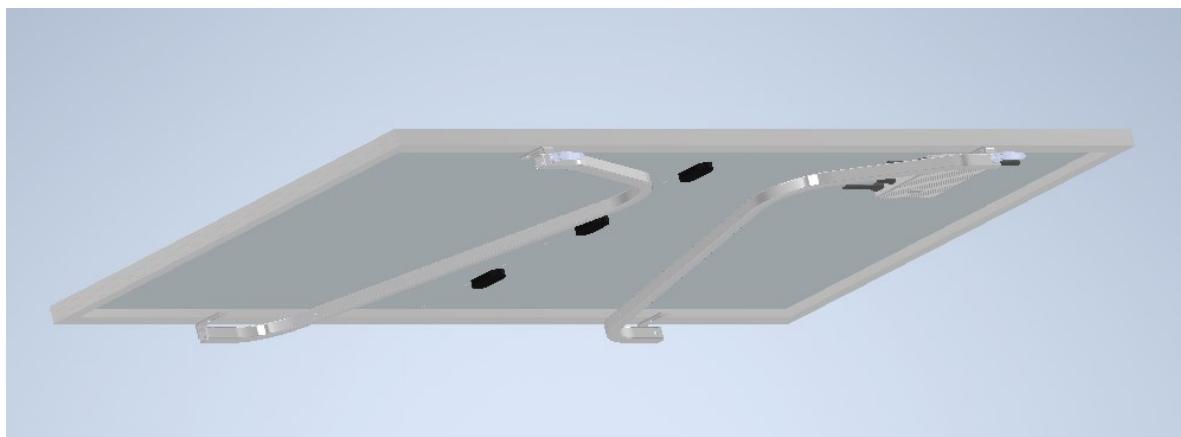


Figure 57. Second prototype with tubular leg, folded



Figure 58. Front photograph of the second prototype



Figure 59. Rear photograph of the second prototype

<sup>18</sup>These first prototypes have privileged the use of aluminum to eliminate galvanic torque, for its longevity exposed to the environment and for its lightness. However, cold bending with manual rolling machine has been shown to be very unpredictable, so often the material breaks or implodes in the bending process. With the same piece, it happened that more closed angles were achieved and later failed in the bend of a smaller angle as can be seen in Figure 60.



Figure 60. Manufacturing difficulties of the second prototype

---

<sup>18</sup> Occurs with the contact of different types of metals and exposure to the environment

Finally, by including a step prior to bending, which consisted of heating the tube and cooling it to room temperature, it allowed to obtain the folds without fractures. The heating is done with a blowtorch in the area that will be bent which has been previously smeared with a moistened bar soap. Once the section has been sufficiently heated, the smeared soap turns black.

In the manufacture of the second prototype, the equipment listed in Table 7:

*Table 7. Equipment required for the development of the second prototype*

Team	Specs	Uses
Universal bending machine	Radio 5/16". 1" x 1/8" screed.	Bend the screed
Pedal shear	Cut screed 1/8" thick.	Cut the screed
Band saw	-	Chamfer cut of the legs and soleras
Milling machine	4-edge cutter of 3/8" or 5/16" depending on the screws to be used.	Groove the screed and legs.
Mechanical bending machine	Radius of 53mm. 1" aluminum tube caliber 16.	Bend the legs, if using a round tube.
Square tube bending machine	102mm radius. 1" aluminum tube caliber 16.	Bend the legs, if using a square tube.
Insert nut riveting machine (rivetable)	With tooling for 1/4" or M6.	Place the riveting nut, if used.
Emery	Concrete cutting disc 4" in diameter.	Create the gutter in the counterweight blocks
Gas torch	-	Soften the aluminum legs before bending

For the counterweight, the use of construction blocks on the base of the tubular legs is contemplated. A counterweight of 80kg per MFV would allow the mSFVI-PnP to withstand winds of up to 130km/h (maximum wind gusts every 50 years for the central part of the country) with an additional safety factor of 20%.

Table 8 presents the bill of materials and estimated costs as of June 2022 for the production of the second prototype for two MFVs.

Table 8. Bill of materials of the second prototype for two MFVs

Material	Quantity	Unit cost	Cost without VAT
1.5m square tube aluminum 1" gauge 16	4	\$118.97	\$475.86
M8 aluminium riveting nut	8	\$5.00	\$40.00
M6 bike saddle lock x 5.5cm	8	\$25.00	\$200.00
1" x 1/8" x 10cm aluminum screed	8	\$15.83	\$126.63
Building blocks over 10kg	16	\$14.00	\$224.00
1.4m 1mm stainless steel cable	4	\$5.73	\$22.93
Stainless steel prisoner for 1mm steel cable	2	\$10.00	\$20.00
Aluminum loop/sleeve/crimp for 1mm cable	2	\$1.29	\$2.59
Butterfly nut M6	1	\$3.05	\$3.05
Screw car head M6 x 15mm	1	\$1.91	\$1.91
Washers M6	5	\$1.04	\$5.18
<b>Subtotal</b>			<b>\$1,122.14</b>

Table 99. The total cost of a gross salary of \$9,500 per month, higher than the average salary of a turner in Mexico, which talent.com currently reported at \$8,000 per month (Talent.com, 2022) is taken as a basis.

Table 9. Estimation of labor cost for the development of the second prototype

Labor	Quantity	Time (h)	Cost without VAT
Assembly	1	0.5	\$36.93
Fold Soleras	8	0.27	\$19.70
Grooved Soleras	8	0.67	\$49.24
Fold Legs	4	1.00	\$73.86
Grooved Legs	4	0.67	\$49.24
Slotted Blocks	16	0.53	\$39.39
Total time		3.63	
<b>Subtotal</b>			<b>\$268.37</b>

The total cost of the second prototype, including materials plus labor, is \$1,390.51. This cost is 8% lower than that of a line structure for two MFVs on sale in July 2022 by wholesale distributors in the photovoltaic industry, which still requires on-site assembly and mechanical fixation. In market explorations carried out by the author, the cost of structures without mechanical fixation, which operate with counterweight, are usually more expensive.

With respect to the equipment necessary for the manufacture of the second prototype, it is estimated that the investment is \$ 25,100, this contemplates that the milling machine is adapted with a work table, a bench drill and 4-edge cutters. This indicates the accessibility of the investment required for the reproduction of the design.

Finally, in the construction process of the second prototype it was observed that the round tube roller is more common in the industry and mechanically simpler than the square tube roller. Although manual rollers are not expensive, the maquila of folds tends to be. Therefore, a subsequent iteration to increase the replicability of the design could eliminate bends when using connectors, although this could increase manufacturing steps. The use of other materials, such as galvanized steel or wood, and new bending techniques could also be explored. Manufacturing processes and times may vary when performing series production.

The second prototype meets the objective set out in this research, as it eliminates complexity, adapts its size to the needs of the target user and significantly reduces the total cost of installing an SFVI, responding to the most relevant adoption motivators.

Finally, it is reported that the following aspects are under development regarding the latest mSFVI-PnP prototype.

- Structure and pre-assembled assembly system of the mSFVI
  - Determine possible need for regattas
- Review of drag and suction coefficients
  - Perform drag and coefficient tests with the prototype
- Application for financial support or accompaniment programs (e.g. incubation programs) to continue the development of the proposal.
- Test with users in a controlled environment

#### 6.7.1. License

This work is protected under the *Creative Commons* License “Attribution-Share-Alike 4.0 International” which allows:

Sharing — copying and redistributing material in any medium or format

Adapt — remix, transform and build from the material for any purpose, even commercially.

These freedoms cannot be revoked as long as the following license terms are followed:

Attribution — Give credit appropriately, provide a link to the license, and indicate if changes have been made.

Share-EQUAL — Remixes, transformation or creations from the material, distributing your contribution under the same license as the original. That is, no legal terms or technological measures that legally restrict other people from making any use permitted by the license may apply.

The full legal text of the license can be consulted in this [link](#).

## 6.8. Level of technological maturity

Since the seventies, NASA introduced the Technological Maturity Level Scale (TRL) as an independent merit indicator to more effectively assess and communicate the maturity of new technologies (Mankins, 2009).

*Table 10. Levels 3 and 4 of technological maturity.*

TRL		Level Stage	Expected objective and scope
3	Analytical (simulation) and/or experimental test of the basic function or critical characteristic.		Validation test of the product concept (critical function). Demonstration of technical feasibility using scale models or mock-ups.
4	Validation of (prototype or system) in a controlled laboratory environment.		The implementation of a prototype or minimum system is performed and tested. The components are tested both separately and then integrated into the system.

At the time of the editorial closing of this report, the design proposal has completed level 4 of technological maturity, according to the descriptions of Ocampo Ruiz (2005) that are included in Table 10.

To complete level 3, the following simulations were performed:

- Folding and deployment testing for non-usable installation of tools in digital parametric design
- Wind tunnel test with 3D printed model
- Analysis of forces and static equilibrium (to be refined from prototype tests).

Regarding level 4, the following tests have been carried out:

- Financial analysis, electricity generation and cost-benefit

- Testing of components: microinverter, cable, interconnection with plug, generation monitor via smart-plug, bicycle saddle lock for the movement of the screed in tubular leg, manufacture of legs and screeds in L.
- Integrated system test: Full system test. Mounting with folding and unfolding of the legs and installation without the use of tools. The operation of the working prototype can be found in the following [video](#) in the digital repository.

## 6.9. Digital repository

Table 11 presents the hyperlink of access to the digital, editable or high-resolution version of the main tools and results referred to in this report, which can be found in the digital repository.

*Table 11. Digital repository of the main tools and results presented*

Tools and results	Hyperlink	Hyperlink in QR
Digital Repository	<a href="#">League</a>	

## 7. Contributions

This research presents theoretical-practical contributions. The three academic articles published in three international research journals present associated contributions to two themes. The first promotes social entrepreneurship as an originating means to increase the agency of design. The second theme is the collection and reporting of the best socio-environmental practices and the motivators of residential adoption of the SFVI.

The articles also inform practice by nurturing an open access design proposal that is directly linked to social entrepreneurship. The practical contribution is the design proposal of an SPS from the development of an mSFVI-PnP that has completed level 4 of technological maturity. Despite still being in the incipient stages of its development, the mSFVI-PnP already manages to be installed in minutes without tools at a competitive cost. Being an open technology research, the proposed designs can be freely harnessed, retaken, improved and shared. The development of the articles, the SPS and the mSFVI-PnP prototype fully meet the objective of this research.

## 8. Conclusions

The results of this research confirm that there is the potential of attention to the domestic end user with sufficient surplus consumption (CES) in the metropolitan area of the Valley of Mexico (ZMVM) to promote the mass adoption of photovoltaic microsystems interconnected to the plug-and-play network (mSFVI PnP). It is feasible to design a product-service system based (SPS) on an mSFVI-PnP that responds to the motivators of the domestic user with surplus consumption for mass adoption in the ZMVM. To achieve this, a venture is proposed with a systemic approach through an SPS that articulates the solar enabler, as a new actor, and enables it through an open technology mSFVI PnP. Open technology encourages replications and adaptations to accelerate the creation of a system that dynamizes and continues to extend borders so that more users can access attractive and economically viable SFVI.

### 8.1. Future research and development

The road in the design of the SPS and the mSFVI PnP is still long, as there are many edges to refine and evaluate that emerged in the development of the project. From the outset, it is necessary to continue with the prototyping and iterations of the SPS, the mSFVI PnP and the system to hoist it to the roof. This would be useful to do in parallel with participatory workshops with users and with solar enablers, to incorporate their feedback into the designs. The development of communication materials for the target user is key, as it must be able to connect with the audience through simple messages that evoke their economic and environmental motivators, as well as address the relevant reasons that lead to the adoption decision. Another relevant aspect is the final disposal of the mSFVI PnP and its components, pending the development of the recycling and final disposal chain.

The costs of the components of the mSFVI are exposed to changes in the exchange rate, the energy industry and the supply/demand dynamics of the producing countries. These three have been temporarily affected by the effects of the COVID-19 pandemic but there are expectations that they will return to their previous trends next year (IHS Markit, 2021). The economic viability of the mSFVI PnP is highly dependent on the rate it replaces and the costs of the system, so the attention of this segment is also sensitive to these variations. In the long term, as the trend of declining component costs of a continuous SFVI, this sensitivity will be reduced.

Finally, there is the potential to serve this segment through community or collective SFVI once regulation is established in the country for this modality.

## 9. Thanks

Many people have collaborated in the process of this research. Starting especially with the tutor committee and synods, the participants of the surveys and the workshop, Agustín Moreno and Ubaldo Dánder of the laminate workshop of the Industrial Design Research Center of the UNAM.

Similarly, the investigation has had the support of the following people, who are mentioned in order of temporary appearance: Adrián Álvarez, Alexandra Vilá, Rodolfo Álvarez, Aaron Sánchez, David Cedillo, Arturo Duhart, Daniel Chacón, Hugo Cruz, Francisco Tovar, Mallory McKay, Hugo Castillo, Federico Meinhart, Eduardo Díaz, Karla Cedano, Fabio Manzini, Omar Álvarez, Manuel Wiechers, Víctor Ramírez, Luis Fernando Ramírez, Mauricio Hernández, Pedro Hancevic, Miguel Robles, Antonio del Río, Alberto Valdés, Mauricio de Mucha, Antoine Coclé, Yusef Jacobs, Nelson Agudelo, Pablo Inclán, Atemoc Hernández, Francisco Solorio, Mauricio Escalante, Marina Godínez and Cecilia Sordo.

This research is funded by the National Council of Science and Technology.

## 10. Academic Articles

Below are the academic articles, the result of this research project.

### 10.1. Design sets the table: coining Design agency through social entrepreneurship

---

LUIS LÓPEZ MARTINELLI  
CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO  
LUISL@COMUNIDAD.UNAM.MX

## El Diseño pone la mesa: acuñar agencia del Diseño a través del emprendimiento social

*Design Sets the Table:  
Coining Design Agency Through Social Entrepreneurship*

**Resumen.** Para hacer frente a las demandas de la producción y la vorágine capitalista, el Diseño se fraccionó y quedó aislado de su característico proceso de reflexión. Éste quedó supeditado a otras disciplinas y a la ganancia económica. A través del emprendimiento social, el Diseño puede acuñar agencia en la transformación social y llevar a la acción sus visiones, con la reintegración de todas las fracciones del proceso de Diseño en un solo émbolo reflexivo.

A través del emprendimiento social, el Diseño conquista una posición desde la cual puede definir con mayor agencia la oportunidad o el sistema a reconfigurar. Además, crea una aproximación en la que los lineamientos de Diseño son delimitados de forma autogestiva, y logra una posición privilegiada para la transformación social. En lugar de que el Diseño se sepa supeditado al mundo empresarial, puede percibirse como el habilitador de la oportunidad de hacer empresa, e incrementar su campo de reflexión y acción. Por ende, el poder transformacional del Diseño se potencia a través del emprendimiento social.

**Palabras clave:** agencia del Diseño, emprendimiento social y Diseño, transformación social del Diseño

**Abstract.** To cope with the demands of production and the capitalist whirlwind, during the industrial revolution, Design fractioned and was isolated from its characteristic reflection processes. Design was left subject to other disciplines and economic gain. Through social entrepreneurship, Design can coin agency in social transformation and bring its visions into action, reintegrating all the fractions of the Design process into a single reflective piston.

Through social entrepreneurship, Design conquers a position from which it can define with greater agency the opportunity or the system to reconfigure. In addition, it creates an approach through which the Design guidelines are delimited through the Design process, achieving a privileged position for social transformation. Instead of Design being aware of its subordination to the corporate world, Design can perceive itself as the enabler of the opportunity to enterprise, increasing its field of reflection and action. Therefore, Design's transformational power is boosted through social entrepreneurship.

**Keywords:** agency of Design, social entrepreneurship and Design, social transformation through Design

---

Fecha de recepción: 27/01/2021  
Fecha de aceptación: 13/05/2021  
Cómo citar: López Martinelli, L. (2021).  
El Diseño pone la mesa: acuñar agencia del  
Diseño a través del emprendimiento social.  
*RChD: creación y pensamiento*, 6 (10), 01-08.  
<https://doi.org/10.5354/0719-837X.2021.60890>

Revista Chilena de Diseño,  
*RChD: creación y pensamiento*  
Universidad de Chile  
2021, 6(10)  
<http://rchd.uchile.cl>

LÓPEZ MARTINELLI

Para hacer frente a las demandas de la producción y la vorágine capitalista, durante la revolución industrial, el Diseño se fraccionó y quedó aislado de su característico proceso de reflexión. Quedó supeditado a otras disciplinas y a la ganancia económica (Tapia, 2004). Por ende, según Bonsiepe (1993, citado en Tapia, 2004), el Diseño se supedita al servicio de la política empresarial, que es la que se encuentra en posibilidades reales de producir innovaciones de largo alcance. Innovaciones como el Ford T, el iPhone o Google han tenido un impacto transformacional indiscutible en los constructos sociales actuales. Como es bien sabido, en su afán por maximizar la ganancia económica, habilitado por un laxo contexto regulatorio y moral, el mundo empresarial ha dejado una estela de externalidades en su andar, tales como la creciente desigualdad económica, y la subsiguiente desigualdad en el acceso a la justicia, salud, educación, así como la crisis de los límites ambientales planetarios que sustentan la vida (Steffen et al., 2015). “Si partimos de la suposición, tal vez llamativa pero no totalmente inverosímil, de que el mundo contemporáneo puede ser considerado como un fracaso masivo del Diseño” dice Escobar (2016, p. 51), quizás podamos diseñar la salida a la crisis. Algo que en cierta medida fue también sugerido por Papanek y Fuller (1972). Este ensayo sigue esta línea argumentativa y propone que el Diseño puede abordar la problemática y buscar reconfiguraciones sistémicas a través de un enfoque particular del mundo empresarial, el emprendimiento social, y lograr reintegrar todas las fracciones del proceso de Diseño en un solo émbolo reflexivo. De esta manera, el Diseño acuña agencia en la transformación social, al llevar a la acción sus visiones a través del emprendimiento social.

2

El hacer empresa ha caído en los mismos ciclos irreflexivos del Diseño. Sobran ejemplos de empresas que no se responsabilizan del impacto de su actividad, desde externalizaciones al medio ambiente hasta relaciones laborales opresivas que perpetúan los ciclos de pobreza y acumulación de riqueza en pocas manos. Walmart es un ejemplo icónico de esto, pues está presente simultáneamente en dos listados opuestos. Por un lado, la familia fundadora lleva décadas en la lista de Forbes de las personas más ricas del mundo. Por el otro, en Estados Unidos, Walmart lidera la lista de empleadores que menor salario ofrece a sus colaboradores (Comen & Stebbins, 2017). Increíblemente, el salario promedio en Walmart está por debajo de la línea de la pobreza (Bhattarai, 2019). Walmart tiene una estricta política antisindical y es notoria por reprimir abiertamente la organización laboral (Comen & Stebbins, 2017). Incluso ha llegado al punto de cerrar tiendas antes de permitir la representación colectiva de sus empleados (Reuters, 2014). Fry (2019) apunta que a pesar de los avances y todos los artilugios que el humano ha creado de y en su entorno, las muestras de la raíz animal de nuestra especie aún abundan en las imposiciones desde el poder, la violencia y el miedo. Los artilugios nos han distanciado del impacto, y tal vez responsabilidad, de nuestras acciones, y han exacerbado nuestra desconexión de las múltiples dimensiones que afectamos con nuestro actuar (Fry, 2019).

Una de las formas a través de las cuales el diseñador puede llenar ese vacío es canalizando su visión sistémica integradora a través del emprendimiento social. Heskett (2001) nos recuerda que el rol del diseñador como agente maestro de cambio sucede más en teoría que en la práctica. Tapia (2004)

profundiza que en el “diseño parece haberse establecido, por un lado, una reflexión abstracta que no explica su *praxis* y, por otro, una producción irreflexiva y acrítica que no se responsabiliza de sus fundamentos, lo que nos obliga a replantear los problemas...para recuperar la práctica” (p. 13). Por ello, Escobar (2016) propone “una renovada atención a la práctica... y una reintegración del diseño dentro de entramados lugarizados más amplios” (p. 153). A su vez, Fry (2012, citado en Escobar, 2016) apunta hacia la acción a través de “las fuerzas del diseño ontológico que constituyen sujetos con agencia disminuida y lo contrario: un sujeto ontológicamente diseñado más allá del sujeto” (p. 138). Este ensayo argumenta que el emprendimiento social es una oportunidad para que el Diseño salte de la teoría a la práctica, insertándose ontológicamente en un lugar más amplio que le posibilite mayor agencia de transformación social.

Es imposible pronosticar con certeza todos los impactos, buenos o malos, que un artefacto tendrá en el mundo. Pero contemplar los impactos, buenos y malos, que podría tener un Diseño es una tarea que el diseñador debe asumir. El diseñador no domina los efectos de su Diseño, pero sí incide en los principios de Diseño que dan vida y marcan pauta de lo que el Diseño podría y no podría hacer.

Una ampliación de esta máxima sucede al insertar el Diseño dentro del mundo empresarial. En lugar de que el Diseño se sepa supeditado al mundo empresarial, el Diseño puede percibirse como el habilitador de la oportunidad de hacer empresa, e incrementar su rango de reflexión y análisis hacia lo que el Diseño podría hacer desde el emprendimiento social.

3

Como Heskett (2001) sugiere, el Diseño surge como una respuesta al momento histórico. El momento histórico actual tiene al Diseño acorralado en un rol supeditado a las empresas y sus propios esfuerzos mayoritariamente irreflexivos y cegados por la ganancia económica. El estado del Diseño, en este momento, no está a la altura de los tiempos y retos sociales. El Diseño podría proyectar su sombra para hacer frente al gigante a través del emprendimiento social, o continuar esquinado y lanzar excepcionales exclamaciones para ser invitado a la mesa. Esta sombra, además, puede proyectarse ensanchada gracias al rol integrador y transdisciplinario del Diseño que lo habilita a abordar problemas perversos.

Una conquista fundamental que logra el Diseño a través del emprendimiento social es el involucramiento desde las etapas más tempranas de un proyecto; el involucramiento en la definición misma de la oportunidad o sistema a reconfigurar. “La identificación de las oportunidades y su definición guían todo el proceso de diseño” (Ortiz Nicolás, Hernández López & Peinado Coronado, 2019, p. 93). Por ello, es fundamental que el Diseño sea quien pone la mesa, quien asume el liderazgo y define la iniciativa. De lo contrario, en una mesa puesta, “una vez que se estableció la oportunidad, la innovación [del diseño] está restringida a la manera de lograrlo” (Ortiz Nicolás et al., 2019, p. 93), y queda acotada por los lineamientos de Diseño que le son impuestos y no por lineamientos que se generan de forma autogestiva. Esto puede verse reflejado en las palabras de un diseñador, con el que muchos se podrán identificar, que reportó con frecuencia “llevar al diseño hacia lo que el

LÓPEZ MARTINELLI



**Figura 1.** Extracto de la misión de Fairphone (Fairphone, 2021).

4

## Un futuro más justo

Es un secreto a voces: queremos cambiar el mundo. Para Fairphone, lo más importante son las personas y el planeta.

Nos preocupa el clima y el delicado ecosistema de nuestro mundo. Nos importan los derechos humanos y el bienestar de los trabajadores.

Nos encargamos de diseñar productos con vidas útiles más largas y que sean más fáciles de reparar. Nos encargamos de reducir los residuos y de aprovechar al máximo lo que ya tenemos.

[Descubre cómo somos parte del cambio >](#)

cliente solicita, en lugar de hacia dónde creemos hay un mejor diseño” (Crilly, Moultrie & Clarkson, 2009, p. 244). El emprendimiento social es uno de los métodos originarios a través de las cuales el Diseño puede poner la mesa.

De acuerdo a Roberts y Woods (2005, citado en Guzmán Vásquez & Trujillo Dávila, 2008), “el emprendimiento social es la construcción, evaluación y persecución de oportunidades para el cambio social transformativo” y aclaran que “es importante resaltar que el emprendimiento social no es lo mismo que caridad o benevolencia; incluso no es necesariamente sin ánimo de lucro. En esencia, es una actitud benevolente motivada por una necesidad profundamente arraigada de dar a otros, pero va más allá de esto [...] los emprendedores sociales son gente de negocios” (p. 109). Contrario a la definición clásica de los negocios cuya “única responsabilidad social está en incrementar sus utilidades y se deben enfocar exclusivamente en ello” (Friedman, 1970, citado en Guzmán Vásquez & Trujillo Dávila, 2008, p. 111), el emprendimiento social reconoce que las empresas “deben buscar el bienestar de los diferentes grupos de interés, desarrollando emprendimientos sociales que complementen su actuar económico, representen un comportamiento ético y permitan contribuir a la solución de problemas sociales” (Guzmán Vásquez & Trujillo Dávila, 2008, p. 111).

La búsqueda por el comportamiento ético e incluyente del emprendimiento social hace eco con el proceso reflexivo e integrador del Diseño. Su enfoque en el cambio social resuena en los llamados de Simon, Thackara, Papanek, Manzini, Escobar y muchos otros de encauzar el Diseño hacia la transformación social. Crucialmente, la tendencia del emprendimiento social hacia la acción desde la definición de la oportunidad es un claro complemento para incrementar la agencia de la *praxis* del Diseño. La práctica del emprendimiento social en ocasiones cae en reflexiones superficiales, por lo que a su vez se vería beneficiada con las aproximaciones desde el Diseño.

A través del emprendimiento social, el diseñador cobra injerencia en la definición del qué, para quién y por qué, y puede incidir desde el Diseño con decisiones reflexionadas que busquen velar por sus respuestas.



Sustancialmente, el Diseño también conquista agencia en la definición del *cómo* y el *por quién*, y logra velar por los propios colaboradores de la empresa y cómo ésta logra sus objetivos.

Pudiera pensarse que el mundo de los negocios es contrario a la reconfiguración del consumismo y la creciente tecnificación de nuestras vidas. Sin embargo, la existencia misma del emprendimiento social se ampara en buscar la transformación social; eso es lo que la aparta y distingue del mundo empresarial. *Buy me once* (cómprame solo una vez) es un ejemplo de un emprendimiento que busca reducir el consumismo y promover productos sustentables y durables que reemplazan el consumo de productos con menor vida útil, obsolescencia programada y con residuos desaprovechados al término de su vida útil. De igual forma, *Fairphone* y *Shiftphones* son emprendimientos sociales que buscan alargar la vida de un teléfono inteligente a través de un diseño modular que permite al usuario final reparar o actualizar solo ciertos módulos, en lugar de reemplazar todo el teléfono. Adicionalmente, ambos se caracterizan por velar con particular ahínco por la elección de su cadena de suministro y medios de producción, como se expone en la Figura 1, que ejemplifica la agencia en la definición del *cómo* y el *por quién*.

Patagonia es un emprendimiento social que produce ropa y equipo para actividades al exterior como herramientas para habilitar el acercamiento y la conexión de los usuarios con la naturaleza (Labrague, 2017), y ejemplifica la agencia en la definición del *qué* y *para qué*. Adicionalmente, como se aprecia en la Figura 2, para disminuir su huella ambiental, sus productos son diseñados para la durabilidad y promueven el reciclaje o la reparación, compra y venta de ropa y equipo usado, e ilustra la agencia en la definición del *cómo*.

En el *Black Friday*<sup>a</sup> del 2011 Patagonia publicó en el *New York Times* el anuncio de página completa cuyo encabezado lee *Don't buy this jacket* (no compres este abrigo) que se muestra en la Figura 3. El texto del anuncio aboga por una reducción al consumo para proteger los ecosistemas del planeta y desglosa la huella ambiental del abrigo en el anuncio<sup>b</sup>. Apoyados en la experiencia personal de los fundadores con las dificultades de trabajar cuando se tiene hijos pequeños y velar por el bienestar de sus colaboradores, Patagonia se ha convertido incidentalmente en un referente internacional de servicios de cuidado y desarrollo infantil para los hijos de sus colaboradores. Estos servicios se prestan directamente en sus oficinas, desdibujan las líneas entre los espacios laborales y de juego, y ayudan a los colaboradores a reconectar con el propósito de la empresa.

Figura 2. Extracto de los valores de Patagonia (Patagonia Inc., 2021)

1. El viernes siguiente al día de acción de gracias en Estados Unidos se celebra el *Black Friday*. Debido a los elevados descuentos que ofrece la mayoría de las tiendas, se considera el día con mayor comercio del año.

2. El anuncio completo puede ser consultado en [https://www.patagonia.com/blog/wp-content/uploads/2016/07/nyt\\_11-25-11.pdf](https://www.patagonia.com/blog/wp-content/uploads/2016/07/nyt_11-25-11.pdf)

LÓPEZ MARTINELLI

Figura 3. Anuncio de Patagonia en el *Black Friday* del 2011 (Patagonia Inc., 2021).



Labrage (2017) aboga que Patagonia refinó sus posturas y prácticas desde su fundación en 1973 a través del *slow design*. Ciertamente, el emprendimiento social no es tarea fácil. Canalizar al Diseño a través del emprendimiento social probablemente requiera que el diseñador se vea en la necesidad de adquirir nuevas capacidades, perspectivas, procesos de co-Diseño y Diseño dialógico que hagan profundo uso de su habilidad transdisciplinaria y de la agencia distribuida (Escobar, 2016). A través del emprendimiento social, el Diseño asume un reto de gran complejidad por su ampliado y diversificado campo de acción. Como apoyo para navegar esta complejidad y multitud de frentes del mundo empresarial, fue desarrollada la *Evaluación de Impacto B*. Esta herramienta fue refinada en el 2017 con una inversión de \$3,5 millones de dólares en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Es interactiva, de uso gratuito, y permite aprender las prácticas necesarias para construir una organización consciente de su impacto con los colaboradores, la comunidad y el medio ambiente. La herramienta otorga un resultado cuantitativo, presenta ejemplos de mejores prácticas y permite la comparación entre análogos. Alineado al Diseño para los derechos humanos, la herramienta determina el impacto de la organización, sus productos y servicios en el alcance de los objetivos de desarrollo sustentable de la ONU (Sistema B, 2018). A partir de cierto puntaje, las empresas pueden optar por certificarse como Empresa B (*B Corporation* en inglés). Las evaluaciones de las empresas certificadas, como Fairphone y Patagonia, están abiertas al público.

Para propiciar la extensión del campo de acción del Diseño hacia el emprendimiento social es fundamental el desarrollo de las habilidades necesarias para el trabajo interdisciplinario, lidiar con la incertidumbre para definir lo que es relevante diseñar (Ortiz Nicolás, 2016), y fortalecer el carácter originador del Diseño en las escuelas especializadas. En el emprendimiento social, el Diseño acarrea sus herramientas y procesos integradores; a su vez, debe aprender y colaborar con otros nuevos y emprender desde la transdisciplinariedad. Esto puede propiciarse a través del entrenamiento cruzado entre disciplinas, para lograr una polinización cruzada del Diseño. Algunas estrategias para las escuelas de Diseño son: el trabajo colaborativo con otras facultades, como la de administración, negocios o ciencias políticas, para lograr que el alumnado aborde casos de estudios en equipos

interdisciplinarios; el enfoque del currículo y esfuerzos de reclutamiento hacia perfiles originadores; y proponer programas específicos de posgrado, educación continua o ejecutiva orientados a perfiles con experiencia profesional en otras disciplinas. Un ejemplo práctico que integra algunas de las sugerencias anteriores, es el reconocer al emprendimiento social como una de las expresiones de la *praxis* del Diseño que satisface requisitos de titulación (Ortiz Nicolás, comunicación personal, 8 de abril de 2021).

Al asumir el reto de diseñar a través del emprendimiento social u otro medio originador, el Diseño conquista una posición desde la cual puede definir con mayor agencia la oportunidad o el sistema a reconfigurar. Además, crea una aproximación en la que los lineamientos de Diseño son delimitados de forma autogestiva, y logra una posición privilegiada para la transformación social. Por ende, el Diseño incrementa su agencia y el impacto de sus acciones. El Diseño y todos sus practicantes, se potencian al transitar hacia medios originadores donde puedan acuñar un impacto más transformacional, escalar su poder generador de soluciones e integrarlo con un rol activo en el poder de implementación. Potenciar al Diseño a través de un medio originador no es tarea fácil; deberá extirparse de su agudulce círculo de confort teórico, de los *briefs* de diseño, los presupuestos y los proyectos predefinidos. Sin embargo, es una ruta infranqueable para realizar el potencial transformador del Diseño.

Ocasionalmente, el Diseño es un invitado más a la mesa. El menú, la hora, la ubicación de la comida y hasta el resto de los invitados suelen estar ya definidos. Para realizar su potencial y obtener agencia de transformación social, es hora de que el Diseño ponga la mesa. El emprendimiento social es una forma de lograrlo.

LÓPEZ MARTINELLI

### Referencias

- Bhattarai, A. (2019, septiembre 5). Walmart store managers average \$175,000 a year. Many employees still earn below the poverty line. *Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/business/2019/05/09/average-walmart-store-manager-makes-year-many-employees-still-earn-below-poverty-line/>
- Comen, E. & Stebbins, S. (2017, octubre 27). Companies Paying Americans the Least (Special Report). *24/7 Wall St.* <https://247wallst.com/special-report/2017/10/27/companies-paying-americans-the-least-6/6/>
- Crilly, N., Moultrie, J. & Clarkson, P. J. (2009). Shaping things: Intended consumer response and the other determinants of product form. *Design Studies*, 30(3), 224-254. DOI: 10.1016/j.destud.2008.08.001
- Escobar, A. (2016). Autonomía y diseño: La realización de lo comunal (C. Gnecco, Trad.). Editorial Universidad del Cauca. (Obra original publicada 2016).
- Fairphone. (2021). Nuestra Misión. Fairphone. <https://www.fairphone.com/es/story/>
- Fry, T. (2019). In the Beginning. En A.M. Willis (Ed.), *The Design Philosophy Reader*(pp. 15-17). Bloomsbury Visual Arts.
- Guzmán Vásquez, A. & Trujillo Dávila, M. A. (2008). Emprendimiento social – revisión de literatura. *Estudios Gerenciales*, 24(109), 105-125. DOI: 10.1016/S0123-5923(08)70055-X
- Heskett, J. (2001). Past, present, and future in design for industry. *Design issues*, 17(1), 18-26.
- Labrague, M. (2017). Patagonia, A Case Study in the Historical Development of Slow Thinking. *Journal of Design History*, 30(2), 175-191. DOI: 10.1093/jdh/epw050
- Ortiz Nicolás, J. C. (2016). Diseñando el cambio. La innovación social y sus retos. *Economía Creativa*, 6, 9-34.
- Ortiz Nicolás, J. C., Hernández López, I. & Peinado Coronado, P. (2019). El modelo ecológico como herramienta para establecer el área de oportunidad en retos de diseño para la innovación social. En D. Alatorre Guzmán & J. C. Ortiz Nicolás (Eds.), *Innovación social y diseño* (pp. 90-120).
- Papanek, V. & Fuller, R. B. (1972). *Design for the real world*. Thames and Hudson.
- Patagonia, Inc. (2021a). Activismo. <https://www.patagonia.com/es/activismo/>
- Patagonia, Inc. (2021b). *Nano Air Light Hybrid marketing page*. <https://eu.patagonia.com/en/nano-air-light-hybrid.html>
- Reuters. (2014, junio 28). Walmart Illegally Closed Union Store, Court Says. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2014/06/28/business/international/walmart-illegally-closed-union-store-court-says.html>
- Sistema B. (2018, agosto 13). ONU toma evaluación de Sistema B para que las empresas midan los Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://sistemab.org/onu-toma-evaluacion-de-sistema-b-para-que-las-empresas-midan-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). DOI: 10.1126/science.1259855
- Tapia, A. (2004). *El diseño gráfico en el espacio social*. Designio.

## 10.2. Drivers of residential adoption of interconnected photovoltaic systems in the global south



## MOTIVADORES DE ADOPCIÓN RESIDENCIAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS EN EL SUR GLOBAL

L. López Martinelli y J. C. Ortiz Nicolás

Posgrado en Diseño Industrial. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.  
E-mail: [luisl@ualberta.net](mailto:luisl@ualberta.net), E-mail: [jcortiznicolas@posgrado.unam.mx](mailto:jcortiznicolas@posgrado.unam.mx)

Recibido: 7/07 Aceptado: 10/10 publicado en línea

**RESUMEN.-** Las emisiones de gases efecto invernadero deben cortarse a la mitad en esta década para evitar una crisis climática fuera de control. Los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados (SFVI) son una herramienta eficaz para contribuir hacia ese objetivo. Sin embargo, en el Sur Global, la adopción de SFVI continúa siendo un proceso complejo por lo que la tecnología tiene escasa difusión, limitadas opciones de adopción y un gran desconocimiento generalizado entre los usuarios potenciales. A través de una revisión bibliográfica, este artículo identifica diversos factores económicos, técnicos, sociales y regulatorios que inciden en la motivación de adopción de los SFVI. Los cinco factores más relevantes son: el costo y el financiamiento, la ventaja relativa, el desconocimiento de la tecnología, la confiabilidad del SFVI y la interacción social. Ya que los motivadores se encuentran interrelacionados, las propuestas para fomentar la adopción de SFVI deben abordar estos factores de forma integral.

**Palabras claves:** Motivadores de adopción, Sistemas Fotovoltaicos Interconectados, SFVI residenciales, Sur Global, Difusión Tecnológica

## DRIVERS OF ADOPTION OF RESIDENTIAL GRID-TIED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE GLOBAL SOUTH

**ABSTRACT.-** Greenhouse gas emissions must be cut in half in this decade to avoid a climate crisis out of control. Grid-tied Photovoltaic Systems (GTPV) are an effective tool to contribute towards this objective. Nonetheless, in the Global South, GTPV adoption remains a complex process since the technology has scarcely diffused, there is limited adoption options and a generalized lack of knowledge amongst potential users pervades. Through a literature review, this article identifies diverse economic, technical, social and regulatory factors that influence the adoption of GTPV. The most relevant drivers are cost and financing, relative advantage, lack of knowledge, GTPV reliability and social interaction. Given that these drivers are interlinked, proposals to increase GTPV adoption must address these factors comprehensively.

**Keywords:** Drivers for adoption, Grid-tied Photovoltaic Systems, Residential GTPV, Global South, Technology Diffusion

### 1. INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC por sus siglas en inglés) en su último reporte indica que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) deben cortarse a la mitad en esta década para lograr el objetivo de reducción de emisiones del Acuerdo de París (IPCC et al., 2018) y mitigar los peores efectos de la crisis climática. A nivel global, el consumo energético de las edificaciones residenciales representa el 24% del total del uso final de la energía (IEA 2013, citado en Lucon et al., 2014). El IPCC apunta que la mayoría de las emisiones GEI relacionadas provienen del uso de la electricidad y que este consumo se duplicará o triplicará para al 2050 (Lucon et al., 2014). Los análisis de ciclo de vida armonizados destacan que la huella de carbono de la tecnología fotovoltaica (FV) es como mínimo diez veces menor a la de los combustibles fósiles (Edenhofer et al., 2011). Por ello, los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados (SFVI) son una alternativa disponible para propiciar la reducción acelerada de las emisiones GEI provenientes del consumo de electricidad del sector residencial.

Los SFVI residenciales suelen tener hasta 10 kilowatts de potencia (IEA, 2019), siendo ésta menor en países con limitada intensidad energética como suele ser el caso en el Sur Global. Al ser interconectados, poseen una interacción bidireccional con la red eléctrica. Si la vivienda genera más electricidad de la que está consumiendo en cualquier momento, el excedente se alimenta a la red. Por otro lado, la vivienda consume de la red toda la demanda de electricidad que el SFVI no esté generando al momento. Esta interacción precisa de estándares y normatividad para su correcto funcionamiento, así como de regulación para dictaminar la contraprestación de la energía suministrada a la red. Esta regulación, por ende, juega un rol fundamental en la viabilidad económica de los SFVI.

La tecnología FV ha tenido un crecimiento considerable en los últimos años, particularmente en implementaciones a gran escala (*utility scale*, en inglés). Este auge se ha visto reflejado también, aunque en menor medida, en la generación distribuida y en el sector residencial donde su difusión aún es baja en comparación a las fuentes de electricidad convencionales (Karakaya & Sriwannawit, 2015). Como puede apreciarse en la figura 1, al 2018 la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés)



(2019) reportaba 495.7 GW de capacidad instalada FV a nivel global, de los cuales 58 GW corresponden al sector residencial. En este sector, Europa (24.6 GW), Australia (6.5 GW), Japón (9.2 GW) y Estados Unidos (12.7 GW), concentran más del 90% de la capacidad instalada. La IEA pronostica un crecimiento del 250% al 2024 para el segmento, “impulsado por altos costos de la electricidad y crecientes

incentivos regulatorios tanto en países desarrollados como en economías emergentes”. Apuntando que “de todas las tecnologías renovables, el potencial de crecimiento adicional es el más alto para la FV distribuida ya que la adopción por los consumidores puede ser muy rápida una vez que las economías se vuelven atractivas” (2019, p. 82)

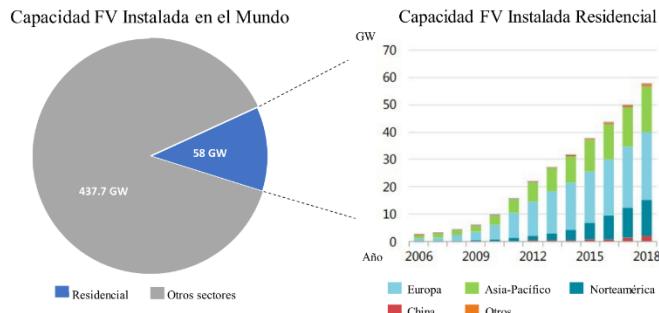


Fig. 1: Capacidad Instalada FV. Fuente: Adaptado de IEA, 2019.

De acuerdo a Dados y Connell (2012), el término Sur Global hace referencia a todos aquellos países que tienen una historia interconectada de colonialismo, neo-imperialismo, y estructuras económicas y sociales a través de las cuales se mantienen grandes desigualdades en la calidad de vida y en el acceso a los recursos. Por ende, se utiliza en términos generales para referirse a Latino América, Asia, África y Oceanía. En estas regiones, “el despliegue [FV] continúa limitado no solo por la falta de políticas públicas y esquemas regulatorios, si no por el atractivo económico” (IEA, 2019). Ya que el grueso de la capacidad instalada residencial FV actualmente se concentra en regiones del Norte Global, existe un gran potencial de entender los motivadores de adopción de los SFVI en el Sur Global para propiciar en estas regiones su difusión acelerada.

Desde la academia, ha habido diferentes esfuerzos para identificar los factores que pueden propiciar la difusión FV. Karakaya y Sriwannawit (2015) realizaron una revisión bibliográfica (*literature review*, en inglés) global en el Índice de Citas de las Ciencias Sociales (SCCI, por sus siglas en inglés) del Web of Science para identificar las barreras de adopción de la tecnología FV, en el que incluyen un gran rango de países del Norte y Sur Global y sistemas FV (sistemas hogar solar e interconectados). Por su cuenta, Alipour et al.(2020) realizaron una revisión bibliográfica en Web of Science y Scopus para identificar los factores que predicen la adopción FV residencial, en el que nuevamente se incluye un gran rango de países del Norte y Sur Global y sistemas FV (sistemas hogar solar e interconectados).

La revisión bibliográfica otorga una visión general del cuerpo de literatura existente sobre un tema; resume y evalúa su contenido situándolo en un contexto específico para determinar su “estado del arte” (Knopf, 2006). Al no identificar revisión bibliográfica que se enfocase particularmente en los motivadores de adopción del Sur Global ni en los SFVI, este artículo presenta una revisión bibliográfica para identificar los factores que influencian la adopción residencial de SFVI en el Sur Global. La revisión es la aproximación metodológica adecuada para cumplir el

objetivo de esta investigación, porque sintetiza los hallazgos más relevantes que investigaciones previas identificaron. Se utilizó como herramienta de búsqueda Google Scholar la cual logra una mayor cobertura al integrar fuentes no tradicionales y fuentes multilingües (Falagas et al 2008; Martín-Martín et al, 2018). El resto de artículo tiene tres secciones. En la sección 2 se aborda la metodología utilizada para la revisión bibliográfica. En la sección 3 se presentan los resultados y la discusión y por último en la sección 4 las conclusiones.

## 2. METODOLOGÍA

La revisión sistemática de literatura se realizó siguiendo el proceso de 5 pasos descrito en la figura 2, que se detalla a continuación.

Paso 1. Generar un universo de 100 artículos, de los 50 primeros resultados de cada idioma, utilizando los siguientes códigos de búsqueda en Google Scholar (utilizando el comando OR entre códigos y el subrayado entrecomilladas):

- a. En inglés: *adopt, adoption, photovoltaic, PV, home, residential, solar, SHS, diffusion, grid-connected, distributed generation, motivation, motivators*
- b. En español: *adoptar, adopción, fotovoltaico, FV, casa, residencial, solar, SFVI, SSFVI, difusión, interconexión, interconectados, generación distribuida, motivación, motivadores*

De este universo, identificar a través del título los artículos relevantes para la revisión.

Resultado: se identificaron 56 artículos.

Paso 2. Seleccionar los estudios relevantes de los 56 artículos identificados a través del resumen, palabras clave, y título, siguiendo los siguientes criterios: artículos que estudian países del Sur Global, publicados del 2010 a la fecha en revistas arbitradas y que aborden sistemas interconectados.

Resultado: se identificaron 20 artículos.

- Paso 3. Del universo de 20 artículos, se realizó una selección más precisa a partir de la relevancia del texto completo en abordar factores que influencian la adopción de SFVI residenciales. La selección se realizó en apego a los criterios antes mencionados. Resultado: se identificaron 15 artículos.
- Paso 4. Identificar todos los factores de adopción descritos en los artículos. Resultado: se identifican 103 factores que influencian la adopción.
- Paso 5. Clasificar los factores para identificar y enlistar los motivadores de adopción.

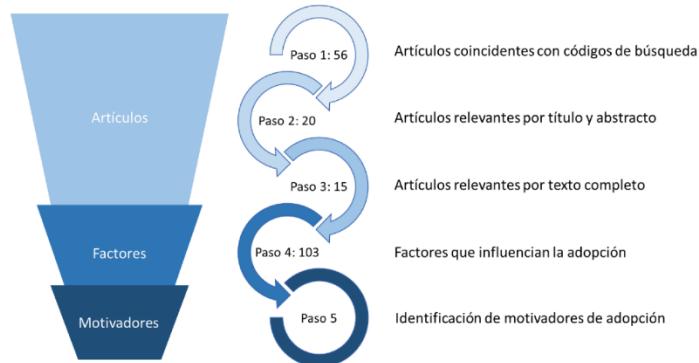


Fig. 2: Pasos de la revisión bibliográfica.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 15 artículos analizados a texto completo provienen de revistas académicas indexadas y abarcan estudios en países de todo el Sur Global en las regiones de Latinoamérica, el Medio Oriente, África y el Sur y Sudeste de Asia. El 80% de ellos fueron publicados en los últimos 5 años. De su análisis se extrajeron 103 factores que influencian la adopción de un SFVI. Estos factores se encuentran con frecuencia interrelacionados, haciendo complejo el proceso de adopción y denotando que una propuesta exitosa debe abordar integralmente varios factores (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Debido a la alta interrelación, los factores pueden ser agrupados o desagregados de diferentes formas. Para el propósito de este estudio los factores fueron clasificados por similitud temática a través del uso de códigos clave. En los datos adjuntos puede consultarse los factores que fueron integrados en cada una de las ocho categorías que se presentan a continuación:

1. Costo y financiamiento
2. Ventaja relativa y política pública
3. Familiarización con la tecnología FV
4. Confiabilidad del SFVI
5. Influencia social y de autoridades
6. Preocupación por el Medio Ambiente
7. Características del usuario
8. Simplificación

#### 3.1. Costo y financiamiento.

El costo y el financiamiento se encuentran estrechamente ligados y son una de las principales barreras de adopción, pues constituyen uno de los factores más relevantes en la creación de una ventaja relativa (Alipour et al., 2020; Lo et al., 2018; Ortiz, 2013; Setyawati, 2020; Ugulu, 2019). El costo inicial del SFVI suele concentrar el grueso del costo del

sistema a través de su vida útil. Un adecuado financiamiento del mismo puede reducir la magnitud de esta barrera. El elevado costo y los largos períodos de repago, son factores que tienen un impacto negativo (Setyawati, 2020) y hasta prohibitivo (Ugulu, 2019) en la adopción y por ello, a menor el costo de los SFVI, mayor la probabilidad de adopción (Karakaya & Sriwannawit, 2015). Sin embargo, Alipour et al. afirman que “la evaluación del costo-beneficio es influenciada significativamente por los valores y personalidad del jefe/a del hogar” (2020).

Por ello, son necesarios esquemas de financiamiento adecuados a los ingresos de los usuarios (Karakaya & Sriwannawit, 2015). Guno et al. encontraron mayor efectividad en un esquema de pago sin enganche y con un plazo de 10 años (2021), particularmente en los usuarios de menores ingresos. En este sentido, Karakaya y Sriwannawit citan un estudio en Ghana que identificó que los SFVI disponibles eran de una potencia mayor a la capacidad de pago de los usuarios objetivo, por lo que ofrecer SFVI menores proporciones puede facilitar su adopción (Karakaya & Sriwannawit, 2015). La sencillez del esquema también es relevante, pues Elmustapha et al. identificaron que el esfuerzo necesario para acceder a esquemas de financiamiento del gobierno no valía la pena para SFVI pequeños, por lo que los esquemas de financiamiento “deben considerar las necesidades, estilos y condiciones de vida de los usuarios” (2018, p. 9). En el mismo tenor, Alipour et al. afirman que la actitud del usuario sobre los aspectos económicos y financieros, tales como la percepción de los incentivos y la regulación del gobierno, las motivaciones financieras, la percepción de costeabilidad y la percepción del costo de la electricidad, tienen un efecto positivo en la adopción (2020).

La disponibilidad de una oferta adecuada, es un factor fundamental para la adopción. De forma ilustrativa, en Ecuador, Vallejo et al. concluyen: “dado que existe potencial

técnico, pero no existe potencial económico ni comercial se concluye que los factores que impiden actualmente la implementación de la tecnología no son de características físicas (radiación solar disponible) o técnicas (sistemas FV), sino netamente por un mercado inmaduro y poco competitivo" (2020). Arraňa y Guno llegan a conclusiones similares en Argentina y las Filipinas (2021;2020). Bawakyillenuo documenta el caso de Ghana, donde los usuarios no tienen acceso a una oferta adecuada pues las opciones existentes son muy grandes y caras para sus necesidades, denotando la inmadurez del mercado (2007, citado en Karakaya & Sriwannawit, 2015).

### 3.2. Ventaja relativa y política pública.

La ventaja relativa se forma contra otras alternativas de suministro eléctrico. Considera el costo (tanto el inicial como el costo nivelado), el impacto social, la estética, así como otros factores conductuales (Dalton 2008, citado en Zahari & Esa, 2016). La ventaja relativa también puede ser entendida como los "beneficios que se esperan de la innovación en relación con su costo" (Zahari & Esa, 2016, p. 447). En el caso de los SFVI, la ventaja relativa más recurrente es el menor costo de electricidad (costo nivelado de electricidad) contra la tarifa de suministro eléctrico de la red (Elmustapha et al., 2018; Ismail et al 2015; Moehlecke & Zanesco, 2019; Setyawati, 2020; Ugulu, 2019) donde la regulación juega un rol crítico. En Nigeria, la ventaja relativa es mayor para los usuarios que sufren de suministro eléctrico de baja calidad y que llegan a recurrir a generadores de emergencia para suplir las fallas de la red (Ugulu, 2019). También es mayor para los usuarios que pagan altas tarifas o altos costos para acceder a la electricidad.

La regulación juega un rol fundamental en conformar la ventaja relativa de los SFVI, particularmente al reducir los costos del sistema, a través de incentivos fiscales, y al mejorar el retorno de inversión al definir la contraprestación de la electricidad aportada a la red eléctrica. "En muchos países, los sistemas FV no son rentables sin el apoyo de políticas públicas" (Karakaya & Sriwannawit, 2015, p. 64) por lo que "la literatura sugiere que un ambiente de política pública efectiva y estable es crucial para el desarrollo de los sistemas FV" (Hidayatno et al., 2020, p. 732). El apoyo a la producción de electricidad de otras fuentes más contaminantes a través de subsidios generalizados a las tarifas eléctricas, es un ángulo al que debe prestarse atención en la política pública, pues desincentiva la adopción de SFVI al disminuir su ventaja relativa (Karakaya & Sriwannawit, 2015). Esto sucede con frecuencia a través del subsidio a las tarifas eléctricas convencionales, aunque el suministro sea proveniente de fuentes fósiles. En el sureste asiático Ismail et al. reportan que la política pública de tarifa regulada (feed-in-tariff, en inglés) que genera un retorno de inversión suficiente es la de mayor efectividad (2015). Hidayatno et al. hacen eco en Indonesia, y abundan que las siguientes políticas públicas por orden de efectividad son la medición neta (*net-metering*, en inglés) y la venta total (*net billing*, en inglés) (2020). Desde la perspectiva de las finanzas públicas en Colombia, Castaneda et al. estiman que la tarifa regulada es la política pública que mayor rapidez de adopción genera por lo que logra en dos décadas casi 50% más reducción de emisiones que la medición-neta. Sin embargo, la medición-neta es la regulación más eficiente pues su implementación tiene un costo comparativo 6 veces menor (2018).

En otros aspectos regulatorios, en Hong Kong, Lo et al. reportan que "la falta de regulaciones FV, como la falta de métodos de calificación o estándares para los sistemas FV, es problemático pues crea una confianza limitada del consumidor" en la confiabilidad del SFVI (2018, p. 3).

### 3.3. Confiabilidad del SFVI.

Es fundamental que el SFVI sea de calidad, durable, confiable y tenga un desempeño adecuado (Elmustapha et al., 2018; Karakaya & Sriwannawit, 2015; Lo et al., 2018; Setyawati, 2020; Ugulu, 2019) para que se genere una actitud positiva toda vez que el SFVI satisface correctamente los requerimientos (Alipour et al., 2020). En las entrevistas realizadas por Elmustapha et al. en Líbano, encontraron que los proveedores con frecuencia resaltan los componentes de procedencia extranjera, particularmente de países occidentales, para destacar la calidad de los sistemas (2018). En contraste, "componentes de baja calidad y proveedores deshonestos y poco confiables" contribuyen a una baja adopción (Ugulu, 2019). Adicionalmente, en Nigeria, "la inseguridad es un factor importante en lugares donde se teme que el SFVI pueda ser robado o vandalizado" (Ugulu, 2019). Debido a la complejidad percibida de los sistemas, los temores de los usuarios sobre su correcto uso y a la falta de capacidad para repararlos, los esquemas de pago por servicio pueden generar mayor tracción (Karakaya & Sriwannawit, 2015). En investigaciones relacionadas a productos que evocan confianza se han identificado que características ligadas a productos robustos, sólidos y de calidad evocan dicha emoción en los usuarios (Ortiz Nicolás, 2019).

### 3.4. Familiarización con la tecnología FV.

Alipour et al. (2020) destacan que mientras mayor el desconocimiento, más importante es la percepción del usuario e identificaron al conocimiento como el predictor con mayor correlación de adopción en un 75% de los casos. Por ello, el conocimiento es el precursor de la adopción (Ugulu, 2019) y en su ausencia, Karakaya y Sriwannawit lo identifican como una barrera crucial (2015). La falta de familiarización con la tecnología FV se manifiesta de diversas formas: poca o nula información de proveedores de confianza, escepticismo (Agaton & Villanueva, 2021), percepción de inmadurez de la tecnología, preocupaciones de seguridad e impacto en la salud, así como una falta de conocimiento generalizado en los productos, la instalación, mantenimiento y su funcionamiento técnico y regulatorio (Elmustapha et al., 2018; Lo et al., 2018; Padmanathan et al., 2019; Setyawati, 2020).

En la India, Padmanathan et al. afirman que "la sociedad inconscientemente cree que la tecnología solar es inmadura" (Padmanathan et al., 2019). En efecto, aunque la tecnología fotovoltaica se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, la percepción pública aún no se ha actualizado y se considera de forma generalizada que su costo es elevado. Setyawati apunta que los usuarios jóvenes en Indonesia tienen una mayor propensión a buscar información por lo que al familiarizarse con la tecnología FV adquieren influencia en la decisión de adopción (2020).

### 3.5. Características del usuario.

Ugulu apunta que "los factores sociodemográficos como la edad, el ingreso, la educación y la propiedad de la vivienda son importantes, pero con frecuencia son menos relevantes [para la adopción] que otros factores técnicos y socioeconómicos" (2019). Adicionalmente, la revisión

bibliográfica de Alipour et al. concluye que el aporte de los factores sociodemográficos arroja resultados contradictorios en diversos estudios (2020). Por otro lado, Standal et al. reporta influencia de género en la adopción FV pues el dominio de la tecnología moderna sigue siendo percibido como un ámbito masculino (citado en Setyawati, 2020).

Varios estudios reportan que la adopción de SFVI depende de las creencias y la percepción del usuario sobre sus posibles beneficios (Karakaya & Sriwannawit, 2015; Setyawati, 2020; Zahari & Esa, 2016). La percepción está estrechamente ligada a la complejidad (Karakaya & Sriwannawit, 2015), lo cual pudiera estar relacionada con la mayor tendencia de adopción de los prosumidores (consumidores con altos conocimientos y habilidades que participan en la producción del producto o servicio) pues poseen un mejor dominio de la materia. Alipour et al. agregan que la adopción es influenciada con mayor peso por los valores y la personalidad del jefe o jefa de familia y su percepción del riesgo (2020).

### 3.6. Preocupación por el medio ambiente.

Si bien la mayoría de los artículos revisados a texto completo no reportan la preocupación por el medio ambiente como un factor de adopción determinante, varios autores reportan que es un factor considerado en la mayoría de las adopciones (Alipour et al., 2020; Setyawati, 2020). Por su cuenta, Zahari y Esa destacan que los prosumidores tienen mayor probabilidad de realizar compras considerando al medio ambiente (2016). Al no ser un factor determinante generalizado, es probable que la motivación de adopción por la preocupación por el medio ambiente esté subestimada por lo que se identifica como oportunidad para futuros estudios.

### 3.7. Influencia social y de autoridades.

La interacción social es una fuente de información que genera una resonancia que influye significativamente en la adopción fotovoltaica (Elmustapha et al., 2018). Es por ello que la influencia de los amigos y vecinos es relevante. A partir de la interacción social, los interesados pueden obtener retroalimentación sobre el desempeño de los SFVI, observar y despejar sus dudas a través de los SFVI instalados. Algunos proveedores incluso fomentan la interacción cara a cara para construir confianza e intensificar las redes sociales entre las partes, reflejando la importancia de las redes de distribución locales (Elmustapha et al., 2018). Es relevante, sin embargo, considerar que cuando existen preocupaciones comunitarias sobre la estética o seguridad de los SFVI y cuando la experiencia con un SFVI de algún vecino no ha sido positiva, la interacción social también puede disuadir la adopción (Karakaya & Sriwannawit, 2015; Lo et al., 2018). Para lidiar con estos retos, las soluciones deben de considerar estos factores, que el producto sea atractivo, seguro y confiable.

Algunos usuarios adoptan un SFVI para quedar bien con el círculo social con el que mantiene contacto o para presumir (Elmustapha et al., 2018; Padmanathan et al., 2019). Independientemente de la causa de la adopción, Moehlecke y Zanesco apuntan que “donde hay consumidores de clase media dispuestos a poner sistemas fotovoltaicos, ahí el mercado se establece y produce un crecimiento del número de instalaciones” (2019), resaltando que las adopciones de la clase media tienen el potencial de ser habilitadoras para que la industria se establezca y mejore su oferta.

Además de las figuras de influencia que provienen de la interacción social y que toman forma de amistades y vecinos,

la influencia de figuras de autoridad como bancos, asociaciones vecinales, el suministrador de luz y entidades gubernamentales es de gran relevancia (Elmustapha et al., 2018; Padmanathan et al., 2019).

### 3.8. Simplificación.

Diversos estudios han establecido que la toma de decisiones se ve ofuscada por la incertidumbre, el exceso de información y de alternativas (Iyengar & Lepper, 2001; Proctor & Schneider, 2018). Debido a ello, la facilidad de entender y utilizar una innovación es un factor importante para predecir su difusión (Elmustapha et al., 2018) y la percepción de la simplicidad de la tecnología impacta en el proceso de adopción (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Los diversos motivadores descritos en este artículo confluyen en un conjunto de factores que hacen de la adopción FV un proceso complejo (Karakaya & Sriwannawit, 2015). Por ello, una de las labores comunes de los proveedores es simplificar la información y el proceso, y generar lazos sociales con los usuarios para des-complejizar y aumentar la confianza en la toma de decisión (Alipour et al., 2020; Elmustapha et al., 2018). La simplificación actúa de forma individual en cada factor o en un conjunto de factores. Conforme la solución integral FV sea más fácil de entender y usar, potencialmente se detonará mayor difusión y aceptación.

Por ende, para motivar la adopción FV es significativo considerar la simplificación integral de la oferta. Particularmente, en la claridad con la que la ventaja relativa es articulada en una oferta adecuada soportada por un ambiente regulatorio estable y atractivo. Sobre este último punto, no se puede subestimar la importancia de la simplificación regulatoria y de las formas de familiarizarse con la tecnología FV, tales como la influencia social y de autoridades y los proveedores de confianza.

## 4. CONCLUSIÓN

La adopción de un SFVI es un proceso multifactorial complejo pues involucra elementos técnicos, económicos y sociales. En el Sur Global, este artículo identifica los siguientes motivadores de adopción: el costo y el financiamiento, la ventaja relativa, la familiarización con la tecnología FV, la confiabilidad del SFVI, las características del usuario, la preocupación por el medio ambiente, la influencia social y de autoridades y la simplificación.

Ya que estos factores se encuentran con frecuencia interrelacionados, las propuestas para fomentar la adopción de SFVI deben abordar diversos factores de forma integral tendiendo hacia la simplificación. De forma ilustrativa, existe la oportunidad de integrar soluciones accesibles que planteen un financiamiento ligado a la correcta operación del SFVI y que puedan generar familiarización a través de la influencia social dentro de las comunidades o de una figura de autoridad. Una propuesta de esta naturaleza respondería en acumulado al grueso de motivadores de adopción identificados.

Por último, debe destacarse el rol de la política pública en generar un ambiente estable, propicio y simplificado, en donde la ventaja relativa y confiabilidad fomenten la adopción FV.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación cuenta con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México.

## REFERENCIAS

- Agaton, C., & Villanueva, R. (2021). Optimal Investment Strategy for Solar PV Integration in Residential Buildings: A Case Study in The Philippines. *International Journal of Renewable Energy Development*, **10**, 79–89. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.32657>
- Alipour, M., Salim, H., Stewart, R. A., & Sahin, O. (2020). Predictors, taxonomy of predictors, and correlations of predictors with the decision behaviour of residential solar photovoltaics adoption: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **123**, 109749. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109749>
- Arraňa, I., Chemes, J., Koffman, L., Mori, C., & Saenz, J. (2020). ¿Es rentable invertir energía fotovoltaica a red en Santa Fe? *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **36**, 21–30. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1385>
- Castaneda, M., Zapata, S., & Aristizabal, A. (2018). Assessing the Effect of Incentive Policies on Residential PV Investments in Colombia. *Energies*, **11**(10), 2614. [10.3390/en1102614](https://doi.org/10.3390/en1102614)
- Dados, N., & Connell, R. (2012). The global south. *Contexts*, **11**(1), 12–13. <https://doi.org/10.1177/1536504212436479>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., ... Schlömer, S. (2011). IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Prepared By Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>
- Elmustapha, H., Hoppe, T., & Bressers, H. (2018). Understanding Stakeholders' Views and the Influence of the Socio-Cultural Dimension on the Adoption of Solar Energy Technology in Lebanon. *Sustainability*, **10**(2), 364. <https://doi.org/10.3390/su10020364>
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses. *The FASEB Journal*, **22**(2), 338–342. [10.1096/fj.07-9492LSF](https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF)
- Hidayatno, A., Setiawan, A. D., Supartha, I. M. W., Moes, A. O., Rahman, I., & Widiono, E. (2020). Investigating policies on improving household rooftop photovoltaics adoption in Indonesia. *Renewable Energy*, **156**, 731–742. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.106>
- IEA. (2019). Renewables 2019. Paris: IEA. Recuperado de IEA website: <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>
- IPCC, Allen, M., Babiker, M., Chen, Y., de Coninck, H., Connors, S., ... Zickfeld, K. (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- Ismail, A. M., Ramirez-Iniguez, R., Asif, M., Munir, A. B., & Muhammad-Sukki, F. (2015). Progress of solar photovoltaic in ASEAN countries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **48**, 399–412. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.010>
- Iyengar, S., & Lepper, M. (2001). When Choice is Demotivating: Can One Desire Too Much of a Good Thing? *Journal of personality and social psychology*, **79**, 995–1006. [10.1037/0022-3514.79.6.995](https://doi.org/10.1037/0022-3514.79.6.995)
- Karakaya, E., & Sriwannawit, P. (2015). Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **49**, 101016/j.rser.2015.04.058
- Knopf, J. W. (2006). Doing a Literature Review. PS: *Political Science & Politics*, **39**(01), 127–132. [10.1215/S1049096506060264](https://doi.org/10.1215/S1049096506060264)
- Lo, K., Mah, D. N.-Y., Wang, G., Leung, M. K., Lo, A. Y., & Hills, P. (2018). Barriers to adopting solar photovoltaic systems in Hong Kong. *Energy & Environment*, **29**(5), 649–663. <https://doi.org/10.1177/0958305X18757402>
- Lucon, O., Ürge-Vorsatz, D., Ahmed, A. Z., Akbari, H., Bertoldi, P., Cabeza, L. F., ... Jiang, Y. (2014). Buildings. En Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter9.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter9.pdf)
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & Delgado López-Cózar, E. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, **12**(4), 1160–1177. [10.1016/j.joi.2018.09.002](https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002)
- Moehlecke, A., & Zanesco, I. (2019). Situación actual de sistemas fotovoltaicos para generación distribuida en Brasil. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **41**, 79–85. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1018>
- Ortiz, J. D. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, **7**(1), 103–117.
- Ortiz Nicolás, J. (2019). Design based on Emotions: Evaluation of a Method and Two Tools to Achieve it. *Revista Diseña*, 1–30. [10.7764/diseña.15.162-191](https://doi.org/10.7764/diseña.15.162-191)
- Padmanathan, K., Govindarajan, U., Ramachandaramurthy, V. K., Rajagopalan, A., Pachaiyannan, N., Sowmya, U., ... Periasamy, S. K. (2019). A sociocultural study on solar photovoltaic energy system in India: Stratification and policy implication. *Journal of Cleaner Production*, **216**, 461–481. [10.1016/j.jclepro.2018.12.225](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.225)
- Proctor, R. W., & Schneider, D. W. (2018). Hick's law for choice reaction time: A review. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **71**(6), 1281–1299. [10.1080/17470218.2017.1322622](https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1322622)
- Setyawati, D. (2020). Analysis of perceptions towards the rooftop photovoltaic solar system policy in Indonesia. *Energy Policy*, **144**, 111569. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111569>
- Ugulu, A. I. (2019). Barriers and motivations for solar photovoltaic (PV) adoption in urban Nigeria. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, **21**. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2019.21.3>
- Vallejo, D., Dávila, R., Soria, R., & Ordóñez, F. (2020). Evaluación del potencial técnico y económico de la tecnología solar fotovoltaica para la microgeneración eléctrica en el sector residencial del Distrito Metropolitano de Quito. *Revista Técnica "energía"*, **17**(1), 80–91. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.399>
- Zahari, A. R., & Esa, E. (2016). Motivation to adopt renewable energy among generation Y. *Procedia Economics and Finance*, **35**, 444–453. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)00055-1).

### 10.3. Best practices to mitigate the socio-environmental impact of GTPV

# MEJORES PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS

*BEST PRACTICES TO MITIGATE SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACT OF  
GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS*

Luis López Martinelli <sup>1</sup>, Fabio Manzini Poli <sup>2</sup>

Recibido: 18/10/2021 y Aceptado: 29/11/2021  
ENERLAC. Volumen VI. Número 1. Junio, 2022 (8 - 20)  
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Derek Sutton de Unsplash.

1 Universidad Nacional Autónoma de México. México.

[luisl@ualberta.net](mailto:luisl@ualberta.net)

<https://orcid.org/0000-0002-6963-4605>

2 Universidad Nacional Autónoma de México. México.

[fmp@ier.unam.mx](mailto:fmp@ier.unam.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-6957-7970>

## RESUMEN



Durante su ciclo de vida, los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados (SFVI) generan impactos socio-ambientales. Estos impactos ocurren principalmente durante la extracción de los insumos para su fabricación y en su fabricación misma, pero también durante su instalación, operación y desmantelamiento. El presente artículo identifica algunas mejores prácticas disponibles actualmente para la disminución sustancial del impacto socio-ambiental de un SFVI a través de una revisión de literatura. La extensión de la vida útil de los SFVI y la selección de componentes específicos disponibles en la actualidad, disminuyen sustancialmente el impacto socio-ambiental de los SFVI. Mitigar oportunamente los impactos socio-ambientales de los SFVI propicia un crecimiento más sustentable de la tecnología, respetuoso de los límites planetarios y ecosistemas, y permite disminuir las afectaciones secundarias que repercuten en resistencias a su difusión.

**Palabras clave:** Energía fotovoltaica, Impacto socio-ambiental, paneles fotovoltaicos (FV), Sistemas Fotovoltaicos Interconectados (SFVI), Evaluación de Impacto social, Evaluación de Impacto ambiental.

MEJORES PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS  
López Martinelli, Luis; Manzini Poli, Fabio

## ABSTRACT

*During their life cycle, Grid-connected Photovoltaic Systems (GCPVS) cause socio-environmental impacts. These impacts occur mainly in the raw material extraction for their manufacture, in the manufacture itself, and during their installation, operation, and dismantling. This article identifies some currently available best practices for substantially reducing the socio-environmental impact of an GCPVS through a literature review. The extension of the lifespan of the GCPVS and the selection of specific components available today effectively reduce the socio-environmental impacts of the GCPVS. The timely mitigation of the socio-environmental impacts of GCPVS promotes a sustainable growth of the technology, respectful of planetary limits and ecosystems, and reduces the secondary effects that create resistance to its diffusion.*

**Keywords:** Photovoltaic energy, Socio-environmental Impact, Photovoltaic Modules (PV), Grid-connected photovoltaic systems (GCPV), Social Impact Assessment, Environmental Impact Assessment.

## INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

La energía fotovoltaica (FV) goza de una percepción generalizada de ser una tecnología limpia. De acuerdo al Laboratorio de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), el impacto ambiental cuantificado mediante la metodología del ciclo de vida armonizado de la energía fotovoltaica es al menos un orden de magnitud menor al del gas natural en ciclo combinado (2021). Sin menoscabo, en algunos sectores de la sociedad existe resistencia a la difusión de la energía fotovoltaica debido a su impacto socio-ambiental, particularmente el causado por sus residuos al término de su vida útil.

Desde hace algunas décadas, el análisis de ciclo de vida (ACV) de la tecnología FV ha sido sujeto de estudio. En el 2014, Nugent y Sovacool ya identificaban 153 estudios ACV de la tecnología fotovoltaica, y apuntaban a que la fase de extracción y fabricación era responsable del 79% de la huella climática de los SFVI (2014). En adición a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), "los módulos fotovoltaicos contienen metales pesados tales como plomo y cadmio, que pueden ser peligrosos cuando los paneles son desmantelados... y los paneles hechos con celdas tipo película delgada contienen materiales tóxicos como el galio, el indio y el arsénico" (Vandelite et al 2012, citado en Olowu et al., 2018). Durante su fabricación, como en el resto de la industria de semiconductores, para purificar el semiconductor se utilizan compuestos químicos peligrosos tales como el "ácido clorhídrico, fluoruro de hidrógeno, ácido nítrico, acetona, 1,1,1-tricloroetano y ácido sul-fúrico" (Olowu et al., 2018, p. 10). Por otro lado, existen reportes de trabajo forzado en el proceso de purificación del silicio en la región de Xinjiang Uyghur en China (Braw, 2021; Murphy & Elima, 2021), donde se produce el 45% del suministro de silicio policristalino de grado solar del mundo (Murphy & Elima, 2021), por lo que, de acuerdo a Chase y Bernreuter es altamente

**Existe resistencia a la difusión de la energía fotovoltaica debido a su impacto socio-ambiental, particularmente el causado por sus residuos al término de su vida útil.**

probable que cualquier módulo solar tenga silicio de Xinjiang (2021, citados en Hernández-Morales et al., 2021).

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) estima que habrá 78 millones de toneladas de residuos fotovoltaicos al 2050 (Weckend et al., 2016). Los países industrializados, como Inglaterra, Australia, Japón y la Unión Europea, ya han implementado regulación específica para el manejo de estos residuos y cuentan con plantas de reciclaje dedicadas. Éste no es el caso generalizado en países del sur global donde con frecuencia no se cuenta con legislación específica o plantas de reciclaje para los residuos fotovoltaicos. Éstos contienen un porcentaje elevado de materiales que pueden ser reutilizados, así como materiales tóxicos que pueden contaminar el medio ambiente con una disposición final inadecuada (Mahmud et al., 2018).

A nivel mundial, los diversos esfuerzos para el reciclaje de los residuos de un SFVI, son comúnmente impulsados por legislación local o asociaciones de empresas solares cuyo enfoque suele ser el “desarrollo de métodos de reciclaje eficientes y costo-efectivos, más que la protección del medio ambiente” (Rabaia et al., 2021, p. 11). Desde la academia, Mahmoudi et al. realizaron una revisión de 70 estudios enfocados en el término de vida de los módulos FV, la mayoría de ellos con énfasis en el reciclaje y la recuperación de materiales (2019). Existen también esfuerzos para extender la vida útil de los paneles FV recuperándolos al término de su primer uso (Create New Revenue Streams, s/f).

A partir de un análisis de literatura, es posible identificar el impacto ambiental en los límites planetarios y ecosistemas, así como el impacto social en la calidad de vida y salud humana, de los diferentes tipos de componentes, tecnologías y prácticas de disposición, creando la posibilidad de reducir el impacto a través de la selección específica de ciertos componentes y prácticas actualmente disponibles (Mahmud et al., 2018).

Con ello, buscar que las mejores prácticas permeen en la industria para que se vuelvan un instrumento de decisión en la implementación de la tecnología FV, y así propiciar un crecimiento más sustentable de la tecnología, respetuoso de los límites planetarios y ecosistemas (Steffen et al., 2015), disminuyendo las afectaciones secundarias que repercuten en resistencias a su difusión.

## DESARROLLO Y RESULTADOS: IDENTIFICACIÓN DE MEJORES PRÁCTICAS

### Extracción y fabricación

Como el proceso de extracción y purificación de los materiales para la fabricación de los módulos FV es intensivo energéticamente hablando, la energía utilizada en la manufactura de los módulos es uno de los determinantes más importantes de su huella de carbón. Las regiones con menor participación de fuentes fósiles y menor factor de emisiones en su red eléctrica, por ende, producen módulos fotovoltaicos con menor huella de carbono (Liu & van den Bergh, 2020). Debido al gran porcentaje de aportación de las carboeléctricas en la red eléctrica de China (Liu & van den Bergh, 2020), “la huella de carbono resultante de la manufactura de paneles solares en China es del doble que de los paneles fabricados en Europa” (Olowu et al., 2018). En el caso de Xinjiang, el 75% de la energía es aportada por fuentes fósiles, de las cuales el carbón es la fuente mayoritaria (Overton, 2016). Por otro lado, los reportes de trabajo forzado en Xinjiang, la utilización de metales pesados y químicos peligrosos que requiere de un elevado estándar de seguridad para los trabajadores, y la negativa del gobierno a permitir auditorías externas, apuntan a favorecer el suministro desde otras regiones (Braw, 2021; 2021, citados en Hernández-Morales et al., 2021). En este sentido, Murphy y Elima (2021) proponen algunas fuentes de suministro alterno.

Otra forma de reducir las emisiones relacionadas con la purificación del silicio es a través del uso de silicio semiconductor reciclado. Klugmann-Radziemska y Kuczyńska-Łażewska estiman que esto logra una reducción de la huella de carbono de un 42% y una reducción casi 50% mayor en el impacto ambiental total, "principalmente debido a la reducción del consumo de energía durante la producción de silicio cristalino de alta pureza" (2020, p. 1). Por su parte, Shin et al. indican que los módulos FV fabricados con silicio reciclado tienen una eficiencia similar a los fabricados con silicio virgen (2017, citado en Mahmudi et al., 2019).

Si bien el impacto socio-ambiental de un SFVI proviene principalmente de los paneles FV, el resto de los componentes también tienen un impacto en la extracción y fabricación. Tales como los procesos de extracción mineral y fabricación para el cableado de cobre, estructura de montaje de aluminio y baterías para los SFVI con almacenamiento. La reducción de estos impactos se aborda en la siguiente sección.

A partir de esta información es posible concluir que el origen de los módulos FV, particularmente la mezcla de combustibles que se utiliza

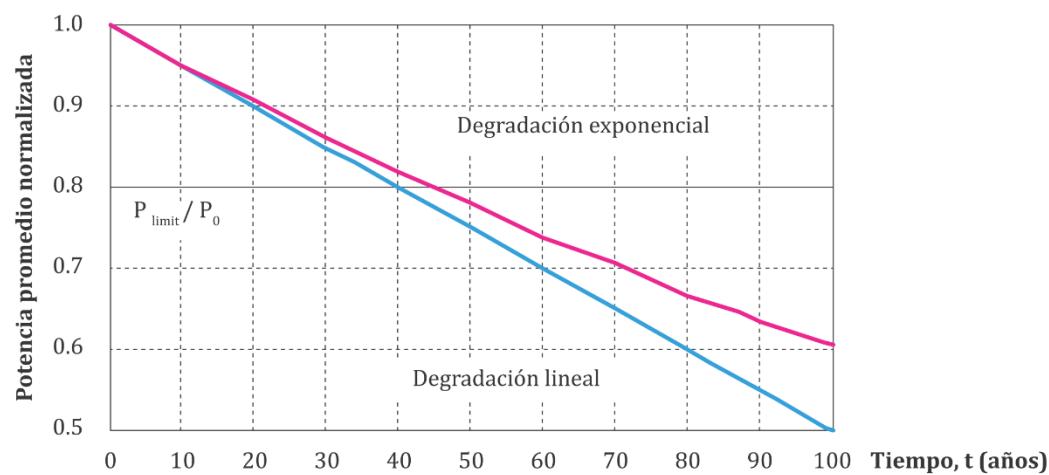
en su fabricación y el uso de silicio reciclado, incide significativamente en el impacto ambiental. Con respecto al impacto social, es preferible favorecer el suministro desde regiones con un récord transparente en sus prácticas laborales.

#### Diseño, instalación, operación y mantenimiento

Los estándares y prácticas de fabricación han ido evolucionando con el tiempo, logrando en conjunto implementaciones de mayor calidad. De forma ilustrativa, los paneles FV presentaban 5 veces menos fracaso de acreditación bajo las normas IEC en el 2012 en comparación con el 2002 (Köntges et al., 2014, p. 7). Los paneles fotovoltaicos son el elemento de mayor confiabilidad de los SFVI, por lo que con frecuencia son acompañados por amplias garantías que cubren hasta 30 años de desempeño (Brakels, 2019).

Estas garantías están diseñadas a partir de curvas de degradación natural, como la que se muestra en la Figura 1 considerando una degradación anual inicial del 0.5%, en donde se observa que a los 40 años la potencia se reduce un 20% (en relación a su potencia inicial  $P_0$ ) si se considera una degradación lineal y un 17% si se considera una degradación exponencial.

Figura 1. Curvas de degradación.

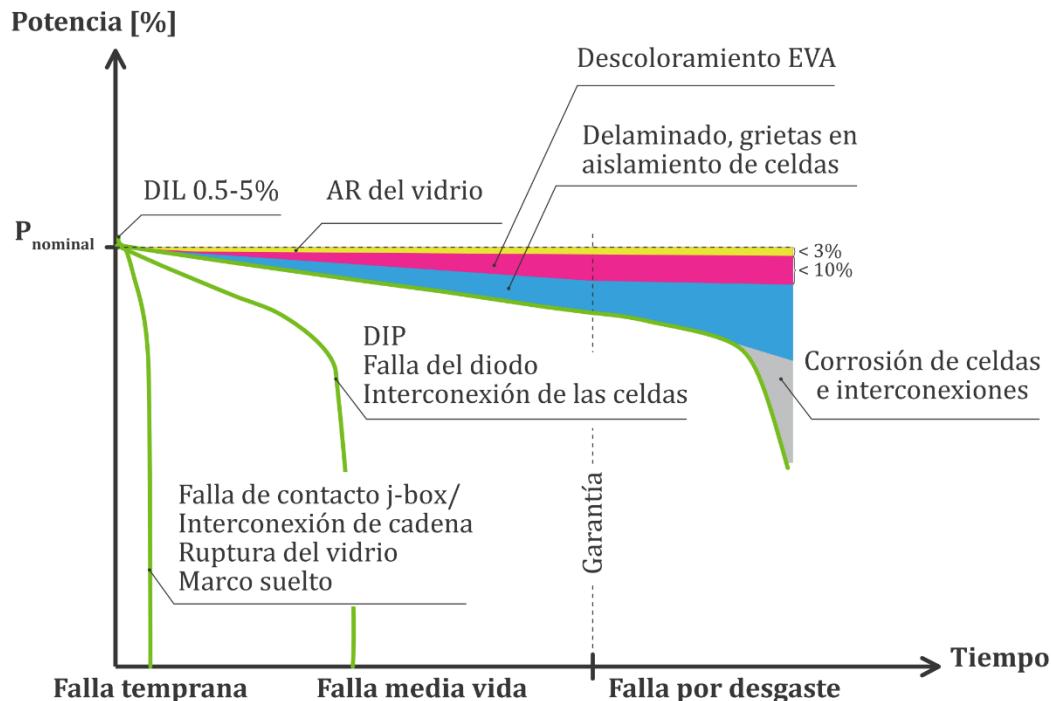


Fuente: Adaptado de Vázquez y Rey-Stolle, 2008.

A pesar de la alta confiabilidad, existen fallas que afectan a los paneles FV en un corto y mediano plazo. Un estudio basado en Alemania encontró que los paneles FV defectuosos y las conexiones defectuosas suelen fallar con rapidez, dentro de los primeros 2 años de operación. Las fallas tempranas más comunes se deben a "la pérdida de potencia, problemas en la caja de conexiones y cableado, ruptura de vidrio y la interconexión de las celdas" (Köntges et al., 2014, p. 4). Posteriormente,

acumulando las posibles fallas a mediano plazo, "se predice que el 2% de los paneles FV no cumplirán la garantía del fabricante después de 11-12 años de operación" (Köntges et al., 2014, p. 5), la mayoría por problemas relacionados con fallas en la interconexión de los módulos y ruptura del vidrio. Köntges y colegas (2014) reportan las fallas más comunes, identificadas por su etapa de aparición y su impacto en la generación del panel FV en la Figura 2.

Figura 2. Tres escenarios de fallas típicas de módulos fotovoltaicos con obleas cristalinas



Acrónimos: DIL - Degradación inducida por la luz, DIP - Degradación inducida potencial, j-box - Caja de juntas.

Fuente: Adaptado de Köntges et al., 2014.

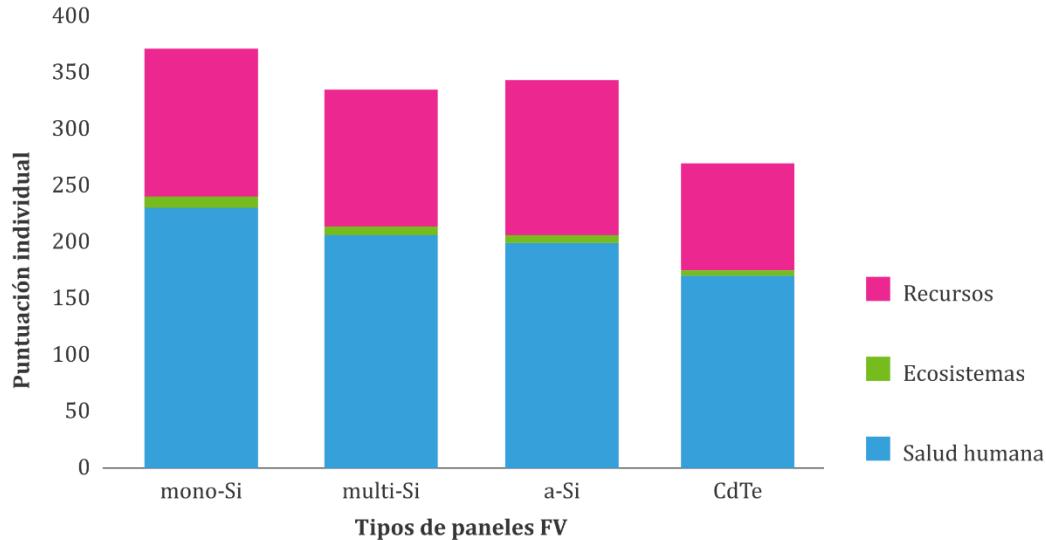
Adicional a las fallas, es probable que un porcentaje de los paneles FV no lleguen al periodo garantizado de desempeño por degradación debido a que las necesidades del usuario lo lleven a repotenciar el sistema. Particularmente en proyectos centralizados, de gran escala o a nivel suministrador existe la posibilidad de repotenciar la planta antes del fin de vida de los paneles FV, lo cual podría agravar el impacto socio-ambiental de esos proyectos al desperdiciar el potencial de generación remanente en los paneles FV.

Con el rápido avance de la tecnología fotovoltaica, la mayoría de los ACV, incluso algunos realizados apenas hace algunos años, utilizan paneles FV cuya eficiencia es notablemente menor a la disponible en la actualidad comercialmente, lo cual podría estar sobrevalorando su impacto ambiental. Lunardi et al., por ejemplo, identificaron que los paneles con tecnología PERC (*Passivated Emitter and Rear Cell*) tienen mejores prestaciones ambientales (2018). Gazbour et al. igualmente encontraron un menor impacto ambiental conforme mayor es la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (2018).

La mayor densidad energética, al requerir menos área de generación y por ende cambio de uso de suelo, es un beneficio ambiental que no se ve reflejado en implementaciones en azoteas donde no existe cambio de uso de suelo. Muteri et al. estiman que el impacto ambiental de las nuevas generaciones FV es considerablemente menor al impacto de los módulos de silicio (2020) que conforman el 90% de los paneles FV en el mercado actualmente (Lunardi et al., 2018).

Dentro de las tecnologías FV más disponibles en el mercado en la actualidad, Rashedi y Khanam (2020) presentan en la Figura 3 el impacto socio-ambiental de la cuna a la tumba, utilizando una escala en la que cada punto representa el impacto anual de un ciudadano promedio. Los paneles monocrystalinos (mono-Si) tienen una huella 11% mayor que los paneles policristalinos y 38% mayor que los de Telurio de Cadmio (CdTe), aunque el contenido de cadmio de estos últimos puede dificultar su reciclaje o disposición final adecuado excepto en plantas especializadas.

Figura 3. ACV de diferentes tecnologías FV.

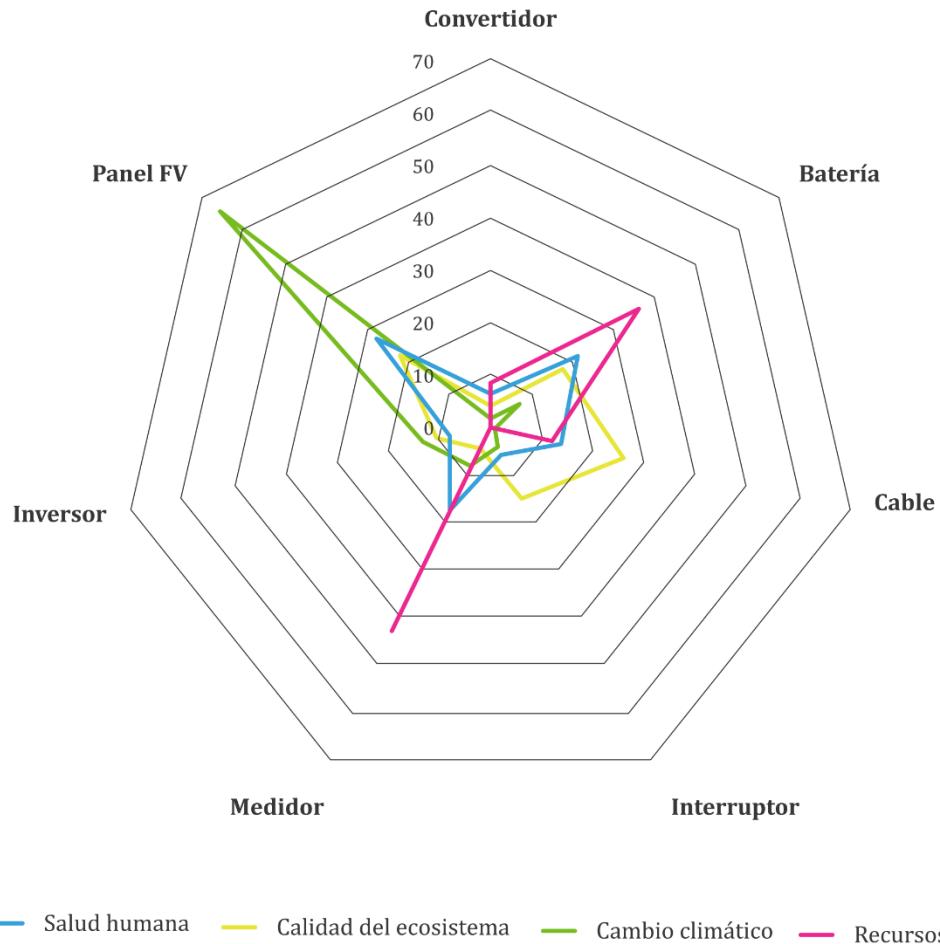


Fuente: Adaptado de Rashedi y Khanam, 2020.

Si bien el panel FV es el responsable de la mayor cantidad del impacto (Rashedi & Khanam, 2020), los SFVI requieren adicionalmente de un inversor, una instalación eléctrica, un montaje y baterías para sistemas con almacenamiento de energía. Mahmud et al. presentan en la Figura 4 que un SFVI que no requiere batería, evita los mayores impactos de un SFVI en recursos

y salud humana. De igual forma, un SFVI que disminuye el cableado en corriente directa (que requiere un mayor calibre), con el uso de microinversores o micro-SFVI que aprovechen la red eléctrica del inmueble, evita el mayor impacto en recursos y calidad del ecosistema. Lo mismo ocurre al utilizar un solo medidor bidireccional (Mahmud et al., 2018).

Figura 4. Categorías de impacto de los componentes de un SFVI.



Fuente: Adaptado de Mahmud et al., 2018.

Para instalaciones a gran escala montadas sobre el piso, como es el caso de plantas de generación central, donde la estructura de montaje suele ser más voluminosa, Beylot et al. reportan que “el uso de aluminio reciclado para la estructura de montaje reduce significativamente los impactos en un 42% para cambio climático, 39% para salud humana y 25% en recursos” (2014). Esto apunta a que el perfil socio-ambiental de un SFVI también pudiera beneficiarse al utilizar estructuras de montaje de aluminio reciclado.

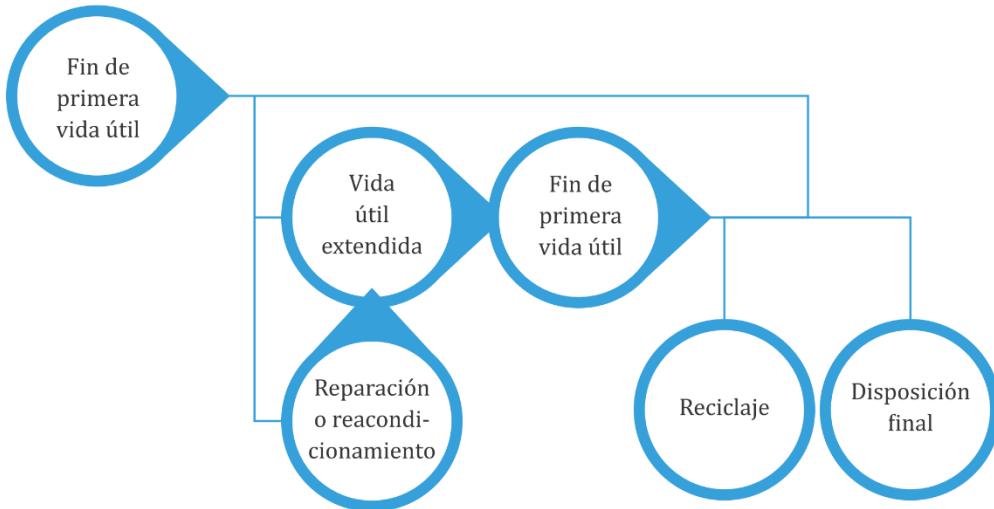
A partir de esta información es posible concluir que las diferentes tecnologías y componentes que conforman un SFVI inciden significativamente en su impacto socio-ambiental. Los paneles FV son el componente que mayor impacto genera, y existen diferencias considerables entre las dife-

rentes tecnologías, siendo la monocristalina la de mayor impacto y las nuevas tecnologías PERC y CdTe las de menor impacto. Por último, evitar o reducir el uso de cableado, batería y medidores adicionales puede tener una reducción significativa en el impacto socio-ambiental de los SFVI.

#### Fin de la vida útil

Al término de la vida útil de un panel FV existen varias alternativas. Como se muestra en la Figura 5, al fin de su vida útil, el panel FV podría ser reciclado o puesto en disposición final. Alternativamente, podría tener una vida útil extendida en el mercado secundario, pudiendo requerir reparación o remanufactura, antes del fin de su vida útil extendida.

Figura 5. Flujograma de fin de vida útil FV.



Fuente: Elaboración propia.

La ruta que menor impacto socio-ambiental presenta, pues maximiza la utilización de los recursos ya invertidos en la fabricación del panel FV, es aquella que extiende su vida útil.

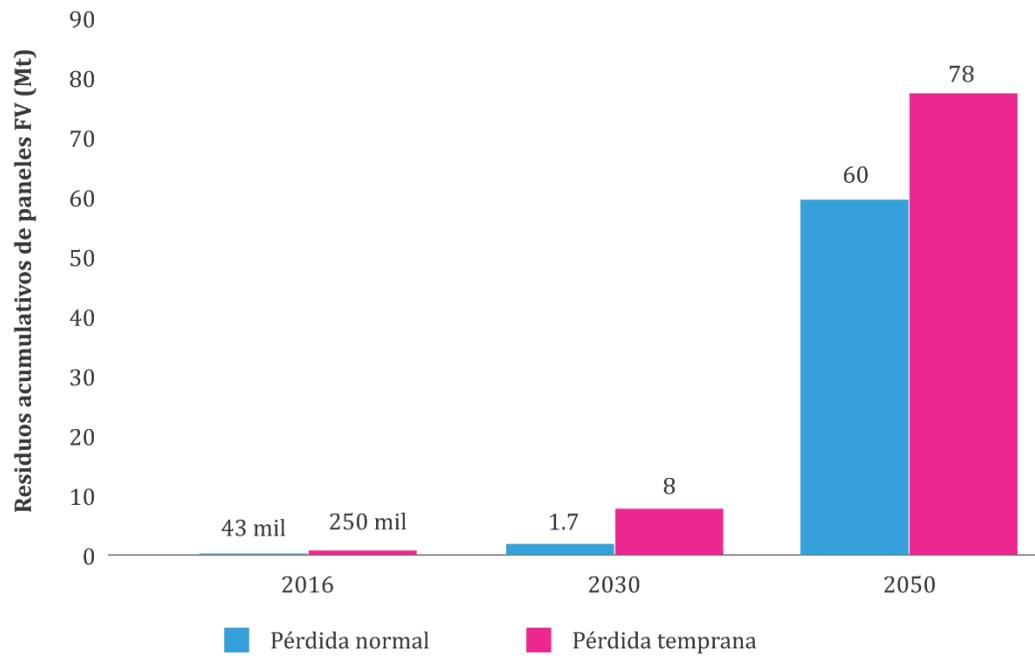
En mercados desarrollados, existe una naciente industria para la reparación, remanufactura y colocación en el mercado secundario de los paneles FV usados, lo cual podría extender la

vida del pequeño porcentaje de paneles que tiene fallas prematuras o de los paneles FV que son reemplazados al repotenciar una planta. Algunas de estas empresas, ofrecen el servicio de reciclaje si la reparación no es viable, como es el caso de Rinovasol en Alemania y RecyclePV en Estados Unidos. Por otro lado, Secondsol en Alemania y EnergyBin en Estados Unidos, han creado adicionalmente un mercado de segunda mano para componentes de SFVI, en donde se pueden adquirir componentes usados o remanufacturados. Ya que el costo de reparación puede ser elevado, ésta se privilegia cuando no quiere modificarse las prestaciones de un arreglo solar existente. Así como con el reciclaje, el costo de reparación o remanufactura podrían verse mejorados con la escala y con diseños que de origen contem-

plen estas posibilidades de la cuna a la cuna (Contreras-Lisperguer et al., 2017).

El reciclaje de los paneles FV es un tema ampliamente estudiado, pues su disposición final puede generar lixiviados tóxicos y los paneles FV contienen materiales de gran valor que pueden ser recuperados. "Los residuos de módulos solares FV ofrecen una rica fuente de energía y materiales que se pueden reutilizar y convertir en nuevos paneles FV, dispositivos electrónicos y otros productos" (Contreras-Lisperguer et al., 2017), existiendo paralelos con el reciclaje de semiconductores. Sin embargo, su reciclaje es aún limitado debido al modesto volumen de residuos disponibles como muestra IRENA en la Figura 6 y a la falta de regulación.

Figura 6. Proyección de desechos FV acumulados.



Fuente: Adaptado de Weckend et al., 2016.

MEJORES PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS  
López Martinelli, Luis; Manzini Poli, Fabio

Existen diversos estudios enfocados en proponer marcos regulatorios y procesos de reciclaje más efectivos, pues se requiere de una aproximación sistemática para hacer viable el reciclaje. Por ejemplo, un estudio de Curtis y colegas del NREL reporta que:

La recolección, transporte y reciclaje de los módulos PV es actualmente prohibitivo y más caro que la disposición final. Evidencia anecdótica sugiere que el costo de reciclar un módulo en Estados Unidos va desde \$15-\$45 USD por módulo, mientras que un estudio del costo de disposición final en rellenos sanitarios no peligrosos puede costar menos de \$1 USD por módulo y menos de \$5 USD en un relleno sanitario para residuos peligrosos. En comparación, en Europa, donde los países cuentan con regulaciones que obligan al reciclaje de los módulos PV, el costo de reciclaje es tan bajo como \$0.70 USD por módulo y las tasas de reciclaje alcanzan el 95% (2021).

Además de reutilizar el silicio grado solar, "las aplicaciones del reciclaje de los materiales recuperados de los paneles FV al fin de su vida útil, tienen una alta demanda en otras industrias, por ejemplo, para la producción de baterías de Li-Ion, geopolímeros, cemento, ladrillo y cerámica, cosméticos y la manufactura de pinturas" (Mahmoudi et al., 2019). Por ello, un estudio estimó que el valor de los materiales recuperados para Estados Unidos representa un potencial de \$60 millones USD para el 2030 y \$2 billones de USD para el 2050 (Weckend et al 2016, EPA 2019a, citados en Curtis et al., 2021). Sin embargo, con los procesos y volúmenes actuales, Lunardi et al. concluyen que "actualmente el reciclaje de los módulos FV de silicio no es rentable aunque es probable que sea obligatorio en más jurisdicciones" y por ello estiman solo se recicla actualmente el 10% de todos los módulos FV a nivel global (Lunardi et al., 2018).

En los casos donde la regulación es laxa y la industria de reciclaje es incipiente, Curtis et

al. apuntan a la posibilidad de "compañías de reciclaje y otras partes interesadas (p.e. compañías de logística inversa) pueden expandir sus líneas de negocio y servicios para incluir el reciclaje de módulos FV y vender los materiales recuperados" (Curtis et al., 2021). Sin embargo, cuando el reciclaje no es adecuado, "la mayoría solo recupera el vidrio, el marco de aluminio y cableado de cobre exterior y no tienen la capacidad de recuperar componentes de alto valor como la plata, el cobre y el silicio de grado solar" (Wambach et al. 2018, citado en Curtis et al., 2021).

A partir de esta información se identifica que la extensión de la vida útil de los paneles FV en implementaciones donde aún son de utilidad, y en algunos casos, después de ser reparados o remanufacturados es una práctica que disminuye el impacto socio-ambiental. Al término de su vida útil, el impacto socio-ambiental disminuye con el reciclaje o con el aprovechamiento parcial de los residuos. Estos procesos seguirán mejorando a partir del desarrollo de diseños cuna a cuna, mejoras regulatorias y tecnologías de reciclaje.

## CONCLUSIONES

A partir de la revisión de literatura realizada, es posible concluir que las diferentes tecnologías y componentes que conforman un SFVI inciden significativamente en su impacto socio-ambiental. Los paneles FV son el componente que mayor impacto genera, y existen diferencias considerables entre las diferentes tecnologías, siendo la monocristalina la de mayor impacto y las nuevas tecnologías PERC y CdTe las de menor impacto. El origen de los módulos FV, particularmente la mezcla de combustibles que se utiliza en su fabricación y el uso de silicio reciclado, incide significativamente en el impacto ambiental. Con respecto al impacto social, es preferible favorecer el suministro desde regiones con un récord transparente en sus prácticas laborales. Por último, evitar o reducir

el uso de cableado, batería y medidores adicionales puede tener una reducción significativa en el impacto socio-ambiental de los SFVI.

La extensión de la vida útil de los paneles FV en implementaciones donde aún son de utilidad, y en algunos casos, después de ser reparados o remanufacturados es una práctica que disminuye su impacto socio-ambiental. Posteriormente, al término de su vida útil, el impacto socio-ambiental es disminuido con su reciclaje o con su aprovechamiento parcial en lo que los diseños cuna a cuna, la regulación y las tecnologías de reciclaje optimizan el proceso y la captura del valor residual, así como la protección ambiental de cualquier remanente tóxico. ■

## REFERENCIAS

- Beylot, A., Payet, J., Puech, C., Adra, N., Jacquin, P., Blanc, I., & Beloin-Saint-Pierre, D. (2014). Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations. *Renewable Energy*, 61, 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.051>
- Brakels, R. (2019, enero 21). *Do Solar Panels Degrade Over Time? Yes, But Not By Much*. Solar Quotes Blog. <https://www.solarquotes.com.au/blog/solar-panel-degradation/>
- Braw, E. (2021, abril 12). When Clean Energy Is Powered by Dirty Labor. *Foreign Policy*. <https://foreignpolicy.com/2021/04/12/clean-energy-china-xinjiang-uyghur-labor/>
- Contreras-Lisperguer, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & Casa, J. de la. (2017). Cradle-to-cradle approach in the life cycle of silicon solar photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production*, 168, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.206>
- Create New Revenue Streams.* (s/f). Recycle PV Solar. Recuperado el 5 de mayo de 2021, de <https://recyclepv.solar/create-new-revenue-streams/>
- Curtis, T., Buchanan, H., Heath, G., Smith, L., & Shaw, S. (2021). *Solar Photovoltaic Module Recycling: A Survey of U.S. Policies and Initiatives* (NREL/TP-6A20-74124, 1774839, MainId:6273; p. NREL/TP-6A20-74124, 1774839, MainId:6273). <https://doi.org/10.2172/1774839>
- Gazbour, N., Razongles, G., Monnier, E., Joanny, M., Charbuillet, C., Burgun, F., & Schaeffer, C. (2018). A path to reduce variability of the environmental footprint results of photovoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1607–1618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.276>
- Hernández-Morales, A., Mathiesen, K., Lau, S., & Leali, G. (2021, febrero 10). *Fears over China's Muslim forced labor loom over EU solar power*. POLITICO. <https://www.politico.eu/article/xinjiang-china-polysilicon-solar-energy-europe/>
- Klugmann-Radziemska, E., & Kuczyńska-Łażewska, A. (2020). The use of recycled semiconductor material in crystalline silicon photovoltaic modules production—A life cycle assessment of environmental impacts. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 205, 110259. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110259>
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U., Berger, K. A., & Kato, K. (2014). *Performance and reliability of photovoltaic systems: Subtask 3.2: Review of failures of photovoltaic modules: IEA PVPS task 13: external final report IEA-PVPS*. International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme.
- Liu, F., & van den Bergh, J. C. J. M. (2020). Differences in CO<sub>2</sub> emissions of solar PV production among technologies and regions: Application to China, EU and USA. *Energy Policy*, 138, 111234. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111234>
- Lunardi, M. M., Alvarez-Gaitan, J. P., & Corkish, J. I. B. and R. (2018). A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules. En *Solar Panels and Photovoltaic Materials*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74390>
- M. Lunardi, M., Alvarez-Gaitan, J. P., Chang, N. L., & Corkish, R. (2018). Life cycle assessment on PERC solar modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 187, 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.08.004>

MEJORES PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS  
 López Martinelli, Luis; Manzini Poli, Fabio

- Mahmoudi, S., Huda, N., Alavi, Z., Islam, M. T., & Behnia, M. (2019). End-of-life photovoltaic modules: A systematic quantitative literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.018>
- Mahmud, M., Huda, N., Farjana, S., & Lang, C. (2018). Environmental Impacts of Solar-Photovoltaic and Solar-Thermal Systems with Life-Cycle Assessment. *Energies*, 11(9), 2346. <https://doi.org/10.3390/en11092346>
- Murphy, L., & Elima, N. (2021). *In broad daylight: Uyghur forced labour and global solar supply chains*. Sheffield Hallam University Helena Kennedy Centre for International Justice.
- Muteri, V., Cellura, Curto, D., Franzitta, Longo, S., Mistretta, & Parisi, M. L. (2020). Review on Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Panels. *Energies*, 13, 252. <https://doi.org/10.3390/en13010252>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2021). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update* (NREL/FS-6A50-80580). <https://www.osti.gov/biblio/1820320>
- Nugent, D., & Sovacool, B. K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 65, 229-244. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048>
- Olowu, T. O., Sundararajan, A., Moghaddami, M., & Sarwat, A. I. (2018). Future challenges and mitigation methods for high photovoltaic penetration: A survey. *Energies*, 11(7), 1782.
- Overton, T. (2016, enero 1). The Energy Industry in Xinjiang, China: Potential, Problems, and Solutions. *POWER Magazine*. <https://www.powermag.com/energy-industry-xinjiang-china-potential-problems-solutions-web/>
- Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaied, K., Chae, K.-J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G. (2021). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment*, 754, 141989. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>
- Rashedi, A., & Khanam, T. (2020). Life cycle assessment of most widely adopted solar photovoltaic energy technologies by mid-point and end-point indicators of ReCiPe method. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29075-29090. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09194-1>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Weckend, S., Wade, A., & Heath, G. A. (2016). *End of life management: Solar photovoltaic panels*. IRENA & IEA-PVPS. <https://www.osti.gov/biblio/1561525>

## 11. Bibliography Cited

- Bondio, S., Shahnazari, M., & McHugh, A. (2018). The technology of the middle class: Understanding the fulfilment of adoption intentions in Queensland's rapid uptake residential solar photovoltaics market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 642–651. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.035>
- Boston Strategies International. (2016). *Studies of Value Chains of Selected Technologies to Support Mitigation Decision-Making in the Electricity Generation Sector and Contribute to the Development of Technologies*. General Coordination of Climate Change and Low Carbon Development.
- Brdar, I. (2014). Positive and Negative Affect Schedule (PANAS). En A. C. Michalos (Ed.), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research* (pp. 4918–4920). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5\\_2212](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_2212)
- Buchanan, R. (2001). Design Research and the New Learning. *Design Issues*, 17(4), 3–23. <https://doi.org/10.1162/07479360152681056>
- Christiana, A. (2022, enero 10). *The Steady Surge in Residential Solar*. Fine Homebuilding. <https://www.finehomebuilding.com/2022/01/10/the-steady-surge-in-residential-solar>
- Costas, E., López, V., & Martínez, E. (2017, November 16). *Climate change is already humanity's greatest challenge*. Trends 21. Science, technology, society and culture. [https://www.tendencias21.net/El-cambio-climatico-ya-es-el-mayor-reto-de-la-humanidad\\_a44260.html](https://www.tendencias21.net/El-cambio-climatico-ya-es-el-mayor-reto-de-la-humanidad_a44260.html)
- Cullell, J. M. (2021, February 18). *Texas chokes Mexico with the closure of natural gas exports because of the storm*. El País Mexico. <https://elpais.com/mexico/2021-02-18/texas-ahoga-a-mexico-con-el-cierre-de-la-exportacion-de-gas-natural-a-causa-del-temporal.html>

Darghouth, N., & Barbose, G. (2019). *Tracking the Sun* (October 2019; Pricing and Design Trends for Distributed Photovoltaic Systems in the United States).

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2020). *Monitor of commercial information and price index of Distributed Solar Generation in Mexico* (Support for the implementation of the energy transition in Mexico).

ESMAP. (2020). *Global photovoltaic power potential by country*. World Bank.

Figueres, C. (2014, September 23). "Climate change is humanity's greatest challenge, | DW | 23.09.2014 [Deutsche Welle]. <https://www.dw.com/es/el-cambio-clim%C3%A1tico-es-el-mayor-reto-de-la-humanidad/a-17948675>

García Fariña, M. (2017). *Low Scale Photovoltaic Energy Market* (Distributed Generation). Association of Banks of Mexico (ABM).

Hancevic, P. (2021, April 21). *Characterization of energy consumption* [Personal communication].

Hancevic, P., Núñez, H., & Rosellón, J. (2019). *Tariff schemes and regulations: What changes are needed in the Mexican residential electricity sector to support efficient adoption of green technologies?* (Working Paper IDB-WP-1020). IDB Working Paper Series. <https://doi.org/10.18235/0001871>

Hernández López, I. (2021). Specialist in Design for social challenges: subject, actor and agency/agent? *RChD: Creation and Thought*, 6(10), 1–15. <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2021.63945>

IHS Markit. (2021, noviembre 16). *Global Solar PV Installations to Grow 20% in 2022 Even as Supply Chain Disruptions Lead to Rising Manufacturing Costs, IHS Markit Says*. [https://news.ihsmarkit.com/prviewer/release\\_only/id/4939695](https://news.ihsmarkit.com/prviewer/release_only/id/4939695)

National Institute of Ecology and Climate Change (INECC). (2020). *Estimation of health impacts from air pollution in the central region of the country and control alternatives*.

National Institute of Electricity and Clean Energy (INEEL), & Climate Initiative of Mexico (ICM).

(2019). *Photovoltaic distributed generation value chain in Mexico* (Financing to Access Renewable Energy Technologies for Distributed Electricity Generation (FATERGED) in Mexico).

National Institute of Statistics and Geography (INEGI). (2018a). *National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH) 2018*. INEGI Aguascalientes, Mexico.

National Institute of Statistics and Geography (INEGI). (2018b). *National Survey on Energy Consumption in Private Homes (ENCEVI)* (ENCEVI). INEGI.

Jimenez, M. (2022). *Collective Distributed Generation in Mexico*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Karakaya, E., & Sriwannawit, P. (2015). Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.058>

Kostopoulos, I. (Giannis), Gounaris, S., & Boukis, A. (2012). Service blueprinting effectiveness: Drivers of success. *Managing Service Quality*, 22. <https://doi.org/10.1108/09604521211287552>

Limón Portillo, A. (2017, February 6). *Solar energy in Mexico: Its potential and use*. CIEP | Center for Economic and Budgetary Research. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

Mankins, J. C. (2009). Technology readiness assessments: A retrospective. *Acta Astronautica*, 65(9), 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>

Moezzi, M., Ingle, A., Lutzenhiser, L., & Sigrin, B. O. (2017). *A Non-Modeling Exploration of Residential Solar Photovoltaic (PV) Adoption and Non-Adoption* (NREL/SR--6A20-67727, 1379469; p. NREL/SR--6A20-67727, 1379469). <https://doi.org/10.2172/1379469>

Monroy, J. (2022, July 4). *SCJN validates the Electricity Industry Law that privileges the CFE*.

The Economist. <https://www.economista.com.mx/politica/SCJN-valida-la-Ley-de-la-Industria-Electrica-que-privilegia-a-la-CFE-20220407-0079.html>

Ocampo Ruiz, E. (2005). *TRL - Definition of the levels of availability for technological development in architecture and industrial design*.

Ortiz Nicolás, J. C. (2019). Deconstructing the context to understand its impact on the user experience. *Revista Diseña*, 14, 184–207. <https://doi.org/10.7764/disena.14.184-207>

From air pollution, 48,000 Mexicans die prematurely each year. (2020, February 17). Aristegui News. <https://aristeguinoticias.com/1702/mexico/por-contaminacion-del-aire-48-mil-mexicanos-mueren-prematuramente-cada-ano/>

Rademaekers, K., Yearwood, J., Ferreira, A., Pye, S., Hamilton, I., Agnolucci, P., Grover, D., Karásek, J., & Anisimova, N. (2016). *Selecting Indicators to Measure Energy Poverty*.

Ramirez, V. (2020, November 27). *Distributed Generation in Mexico* [Personal Communication].

Robles, R., & Páez, F. (2003). Study on the translation into Spanish and the psychometric properties of the scales of positive and negative affect (corduroys). *Mental Health*, 26(1), 69–75. Redalyc.

Rodriguez, C., Ruiz, G., Rueda, R., & Ochoa, C. (2022, April 19). *Deputies in Mexico Reject the Constitutional Reform in Energy Matters | Insights | Holland & Knight*. Holland & Knight Alert. <https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2022/04/diputados-en-mexico-desechan-la-reforma-constitucional>

Scott Andretta, J. (2011). Who benefits from energy subsidies in Mexico? *CIDE*, 26.

Sherratt, A. (2013). Cradle to Cradle. En S. O. Idowu, N. Capaldi, L. Zu, & A. D. Gupta (Eds.), *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility* (pp. 630–638). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8\\_165](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8_165)

Sigrin, B., Pless, J., & Drury, E. (2015). Diffusion into new markets: Evolving customer segments in the solar photovoltaics market. *Environmental Research Letters*, 10(8), 084001.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084001>

Stickdorn, M., Schneider, J., Andrews, K., & Lawrence, A. (2011). *This is service design thinking: Basics, tools, cases* (Vol. 1). Wiley Hoboken.

Talent.com. (2022). Average salary for Tornero in Mexico 2022. Talent.com.

<https://mx.talent.com/salary>

*Thermoelectric in Tula affects the air quality of the Megalopolis*, OCCA. (2020, March 4).

PortalAmbiental.com.mx. <https://www.portalambiental.com.mx/calidad-del-aire/20200304/termoelectrica-en-tula-afecta-la-calidad-del-aire-de-la-megalopolis-occa>

The National Renewable Energy Laboratory. (2012). *Life Cycle Assessment Harmonization*.

Energy Analysis. <https://www.nrel.gov/analysis/life-cycle-assessment.html>

Van Sark, W., & Schoen, T. (2017). Photovoltaic system and components price development in the Netherlands. *Proceedings of the 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2866–2869.

Vezzoli, C., Ceschin, F., Osanjo, L., M'Rithaa, M. K., Moalosi, R., Nakazibwe, V., & Diehl, J. C. (2018). *Designing Sustainable Energy for All*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70223-0>

World Energy Council. (2021). *World Energy Trilemma Index 2021*. World Energy Council.

## 12. Glossary

Mass adoption: Potential feature of the solution, based on the strategic management of a technologically viable, industrially replicable, economically profitable and commercially desirable design.

CFE: Federal Commission of Electricidad

DAC: Domestic tariff of consumption without subsidy

mSFVI: Grid-tied Photovoltaic microsystem. Its aim is to complement the CFE's electricity supply and not to replace it.

PnP: Plug and Play

SFVI: Grid-tied Photovoltaic system

SPS: Product-service system. Strategic design that integrates a mix of products, services and business models that together manage to meet the needs of the user based on innovative interactions between stakeholders (Vezzoli et al., 2018, p. 19).

Rate 1: Subsidized domestic rate from Ito central area of the country

CES User: Domestic End User with Sufficient Surplus Consumption

ZMVM: Metropolitan Area of the Valley of Mexico

## 13. Annexes

### 13.1. *Design Brief*

¿Por qué estamos haciendo este proyecto?



Las emisiones de gases efecto invernadero deben cortarse a la mitad en esta década para evitar una crisis climática fuera de control.



- El 75% de la electricidad producida en el país proviene de fuentes fósiles.
- La matriz energética mexicana requiere duplicar la participación actual de las fuentes renovables para cumplir con el acuerdo de París al 2030.



Figure 61. Context in the design brief of the participatory workshop with experts.

A pesar de los avances en la tecnología fotovoltaica, persiste una muy baja adopción de los SFVI



- La energía fotovoltaica cuesta ahora 5 veces menos que hace 10 años.
- En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), de más de 6 millones de usuarios de luz eléctrica, solo 11 mil tienen un Sistema Fotovoltaico Interconectado (SFVI).
  - Suelen concentrarse en tarifas eléctricas sin subsidio como la DAC



Figure 62. Context in the design brief of the participatory workshop with experts.

Los pequeños usuarios de luz eléctrica son un segmento actualmente desatendido



- Los pequeños usuarios han sido excluidos del grueso de la oferta comercial al ser costo-prohibitiva su atención a tan baja escala.
  - Mismo esfuerzo comercial por menos ganancia
- Tarifa subsidiada impide rentabilidad del SFVI
- El hilo conductor de la reducción de costos en este segmento es la gestión comercial, financiera y la instalación.

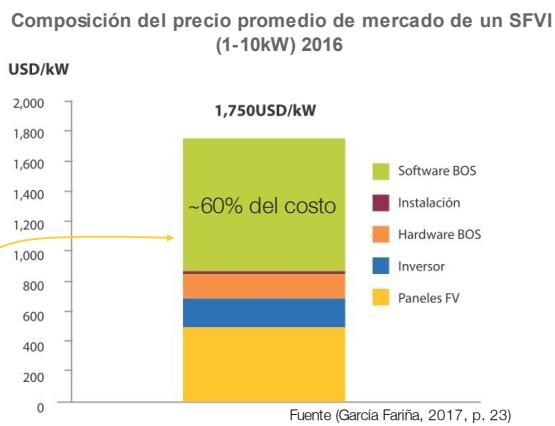
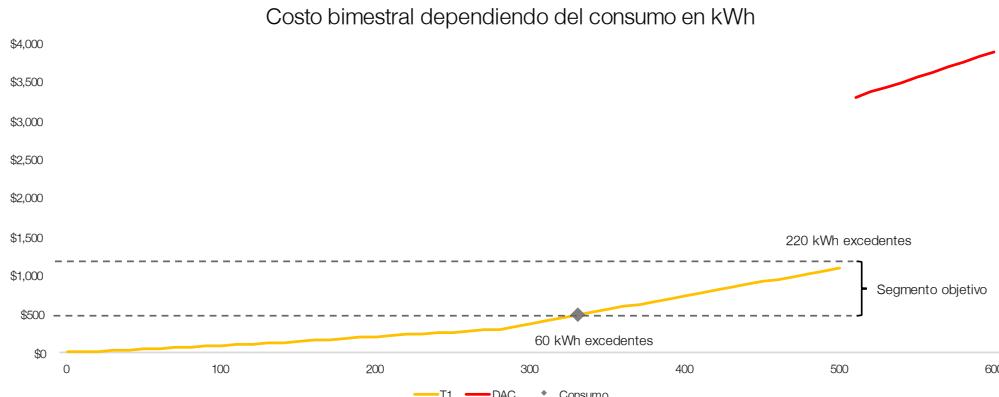


Figure 63. CES user in the design brief of the participatory workshop with experts.

Un micro SFVI puede reemplazar el consumo excedente sin subsidio, haciendo viable y atractivo este segmento

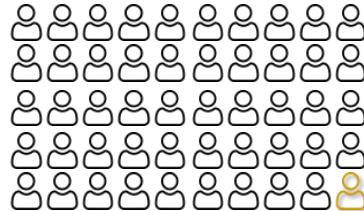


Fuente: Tarifas CFE Sep '21

5

Figure 64. CES user in the design brief of the participatory workshop with experts.

Hay 1 millón de usuarios con consumo excedente suficiente (CES)



Solo 1 de cada 50 usuarios, en tarifa DAC, tiene opciones viables para adoptar un SFVI



1 de cada 6 viviendas consume más de \$500 al bimestre y acumula más de 60 kWh en tarifa excedente

Fuente: ENCEVI 2018

6

Figure 65. CES user in the design brief of the participatory workshop with experts.

Los usuarios con consumo excedente suficiente (CES) en la ZMVM



- 80% vive en casa propia
- 2 niveles o menos
- 65% tiene más de 20 años de construcción

Las viviendas cuentan con:

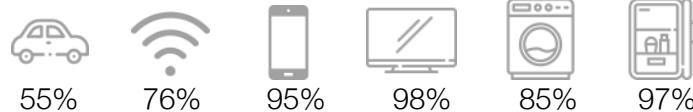


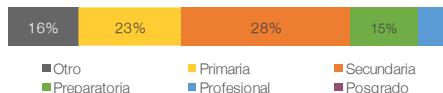
Figure 66. CES user in the design brief of the participatory workshop with experts.

La secundaria es el nivel máximo de estudios de los jefes y jefas de familia en el 25% al 50% de las viviendas CES

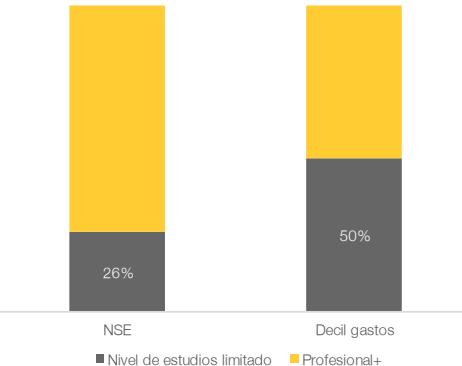


- Entre el 26% (decil de gasto) y el ~50% (NSE) de los usuarios potenciales tienen un nivel máximo de estudio limitado
  - Dedican un porcentaje mayor de sus ingresos al pago de la luz; generando mayor inconformidad
  - Requerirían opciones de financiamiento para la adopción de SFVI

Porcentaje de viviendas de estrato medio bajo por nivel máximo de estudios de jef@ de familia



Nivel máximo de estudios limitado

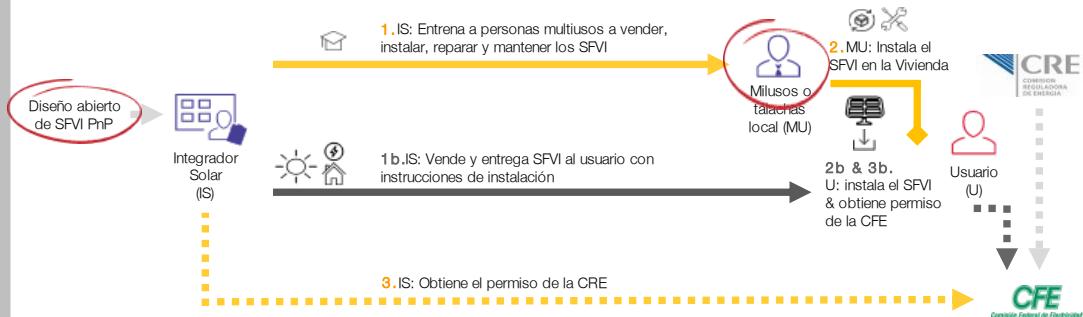


Fuente: ENIGH 2018 para CDMX y EDOMEX.



Figure 67. CES user in the design brief of the participatory workshop with experts.

La investigación de tecnología abierta propone diseñar un servicio y un SFVI PnP para atender este segmento



9

Figure 68. SPS in the design brief of the participatory workshop with experts.

### Especificaciones objetivo del SFVI PnP: 1/2



#### Costo de fabricación \$10,000

- 25% margen operativo integrador
- Precio objetivo al público \$15,000 con IVA



#### Producción de 80 a 100 kwh por mes

- Se puede lograr con dos paneles FV de ~400w
- Un micro-inversor de 700w



#### 15 – 45 min para izado a azotea de dos niveles e instalación

- Instalación sin uso de herramientas

10

Figure 69. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.

## Especificaciones objetivo del SFVI PnP: 2/2



25 – 50 años de vida útil en sus componentes



Resistencia a vientos de 110 a 180 kmh



Conexiones a prueba de error



20 – 25 kg de peso máximo a izar por persona

11

Figure 70. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.



## Otras características deseables

- Mecanismo para fácil deslizamiento sobre el suelo en una de las caras del SFVI
- Apoyo para visualizar la trayectoria solar en los equinoccios
- Mecanismo de desconexión remota o pago por uso
- Compatibilidad para aseguramiento físico antirrobo del SFVI
- Extensión de interconexión con clavija AC versátil para rango de longitud
- Alternativas de anclaje mecánico
- Insertable en el espacio muerto del embalaje de los paneles solares en pallet

## Desglose de costos

Concepto	Unidades	Valor marginal
Costo máximo USD/w del MFV	USD/w	0.27
Costo máximo de los MFV	USD	208
Costo máximo microinversor de 700wp y sus conectores de línea	USD	180
Costo máximo del BOS	USD	25
Costo máximo de estructura	USD	62

12

Figure 71. Specifications in the design brief of the participatory workshop with experts.

El objetivo final es lograr la adopción masiva de SFVI



Tecnología abierta basada en la gestión estratégica de un diseño:

- Tecnológicamente viable
- Industrialmente replicable
- Económicamente redituable
- Comercialmente deseable
- Escalable
- Adoptado por miles de personas

13

Figure 72. Design objective in the design brief of the participatory workshop with experts.

Preguntas de diseño a abordar en el taller participativo con expertos



1. ¿Cómo podríamos lograr una instalación rápida, fácil y segura que no requiera el uso de herramientas?
  - ¿Cómo podríamos lograr que el SFVI resista a las ráfagas del viento?
  - ¿Cómo podríamos lograr que la conexión del sistema sea a prueba de error?
2. ¿Cómo podríamos lograr que el mover, cargar y alzar el sistema sea práctico y seguro?
  - ¿Cómo podríamos lograr que el sistema sea fácil de subir a la azotea?

14

Figure 73. Design questions in the design brief of the participatory workshop with experts.