

BARCELONA COMO *NEARLY ZERO ENERGY CITY*

Manuel Villa-Arrieta

Jornada sobre
Transició energètica i Edificació

Barcelona, 13 de marzo de 2019



ÍNDICE

1. Transición energética urbana
2. Concepto *Nearly Zero Energy City*
3. Caso de estudio: Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

RESUMEN Y *HIGHLIGHTS*

Contribución a la transición energética por medio del estudio en la escalabilidad del concepto *Nearly Zero Energy* desde edificios hasta la autosuficiencia de ciudades.

El modelo *Nearly Zero Energy City* (nZEC) es un indicador para la transición energética urbana, incluye:

- Autoconsumo “macro”
- Coste Global y Coste Óptimo
- Participación de Consumidores, Productores y Prosumidores
- Flexibilidad del sistema

Índice:
Resumen y highlights

1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

1. TRANSICIÓN ENERGÉTICA URBANA

Índice:
Resumen y highlights
1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

Problema

>50% de la población mundial es urbana

Consumo de recursos fósiles y aumento de la demanda eléctrica

70% del consumo mundial de energía y de emisión de GEI¹

Contexto tecnológico

Smart City model

Smart Energy System:
Smart Grids, GD y Smart Meters

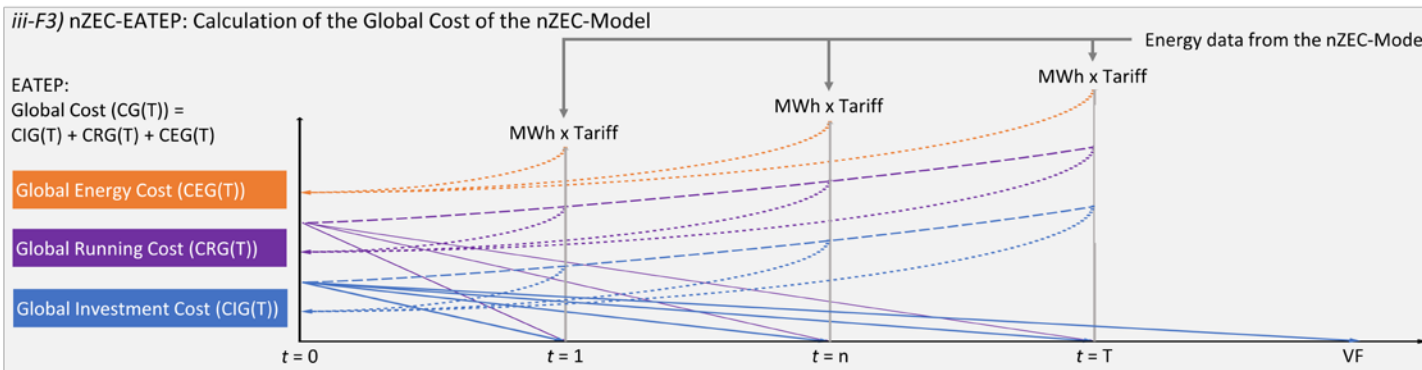
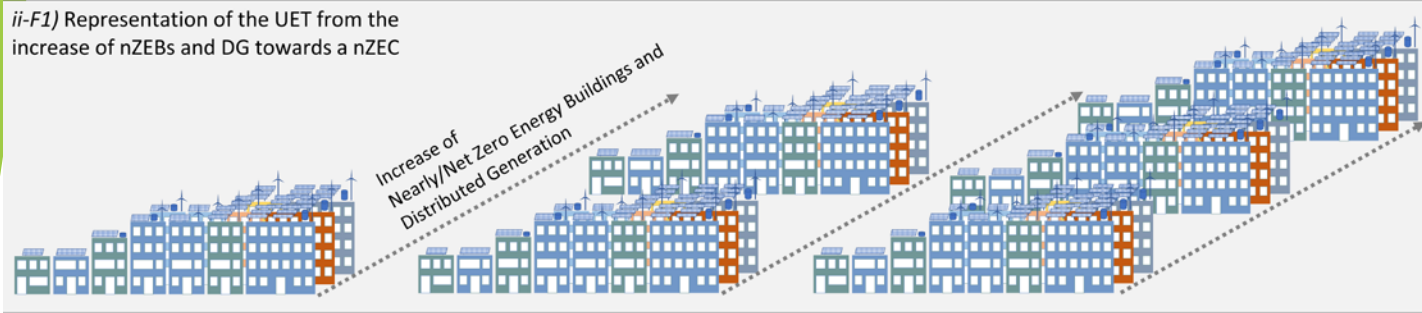
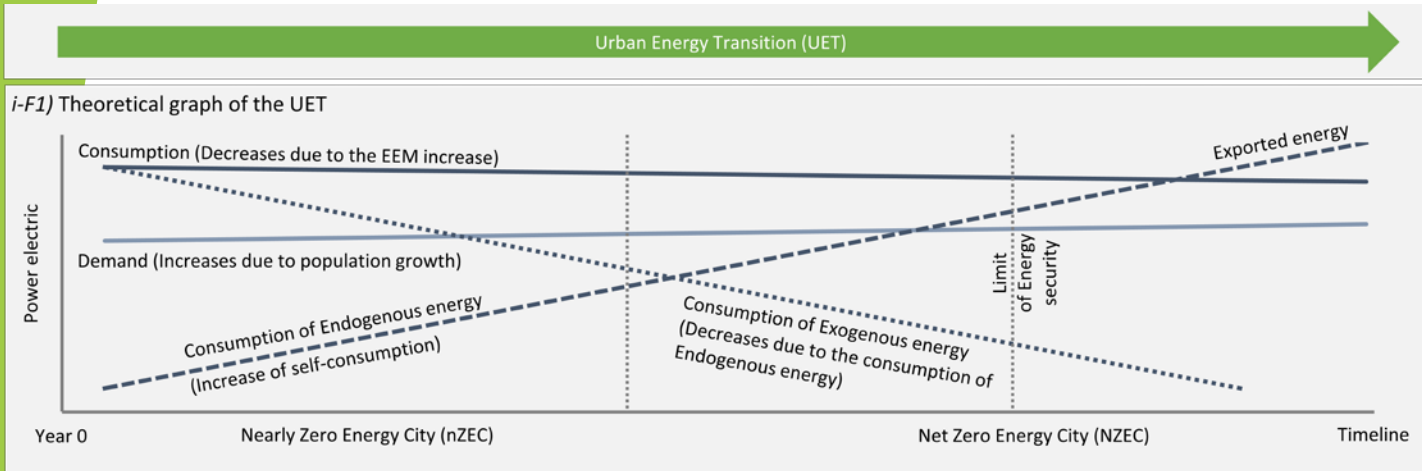
Flexibilización del sistema: Consumidores, Productores, Prosumidores

Debido a la aglomeración poblacional y de recursos, a sus funciones administrativas, económicas y culturales, y a las características de su edificación, **las ciudades están en el centro de la Transición energética**

2. CONCEPTO *NEARLY ZERO ENERGY CITY*

Índice:

- Resumen y highlights
- 1. Transición energética urbana
- 2. nZEC
- 3. Barcelona
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones



- Incremento del aprovechamiento de los recursos energéticos locales

- Incremento de *Nearly Zero Energy Buildings (nZEB)*

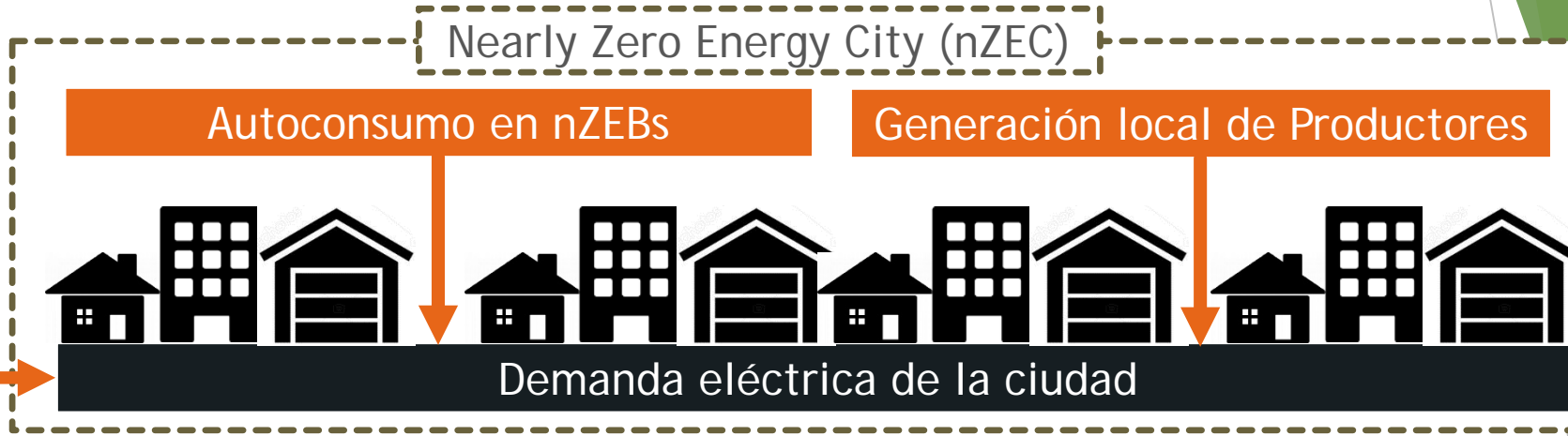
- *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*

2.1 MODELO DE EVALUACIÓN DE nZECs

Índice:

- Resumen y highlights
- 1. Transición energética urbana
- 2. nZEC
- 3. Barcelona
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones

Productores:
suministradores
de energía
externa

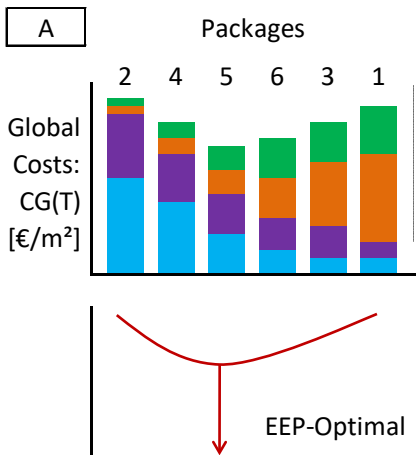


$$EATEP: CG(T)_{Csr,Pdr,Psr} = CIG(T)_{Csr,Pdr,Psr} + CRG(T)_{Csr,Pdr,Psr} + CEG(T)_{Csr,Pdr,Psr} + CMG(T)_{Csr,Pdr,Psr}$$

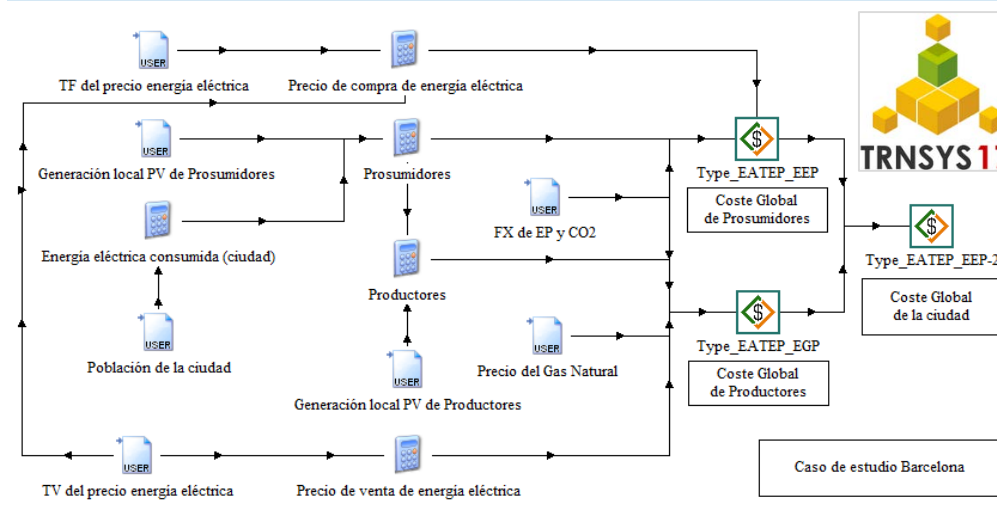
Global Cost (Valor presente de los costes anuales)

Dynamic simulation in *TRaNsient SYstem Simulation tool (TRNSYS)*

$$CG(T) = CI + \sum_j \left[\sum_{t=1}^T (C_{a,t}(j) \times Rd_t) - VF_T(j) \right]$$



■ CVG(T): Global Environmental Cost
■ CEG(T): Global Energy Cost
■ CRG(T): Global Running Cost
■ CIG(T): Global Investment Cost
 ECG(T) [Wh_{PE}/m²]



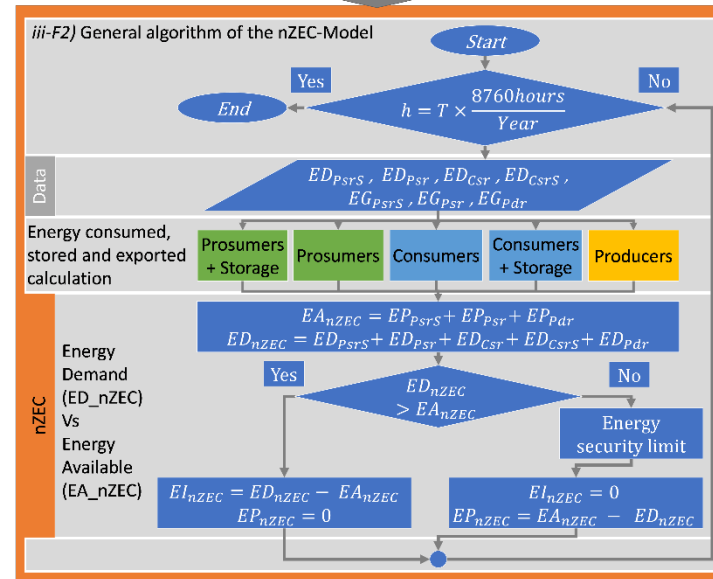
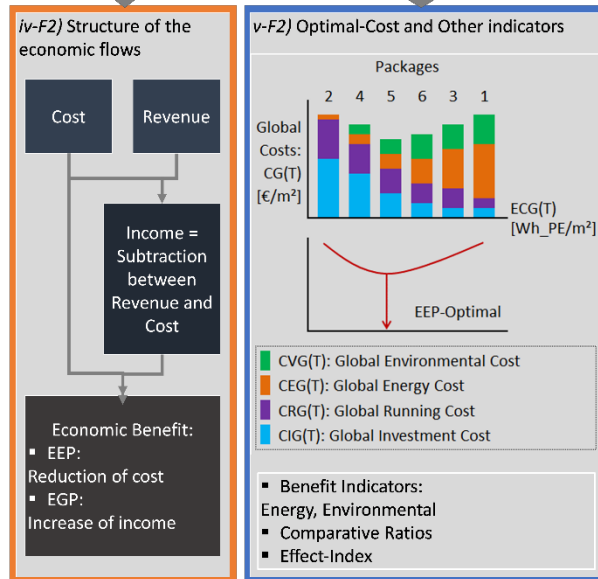
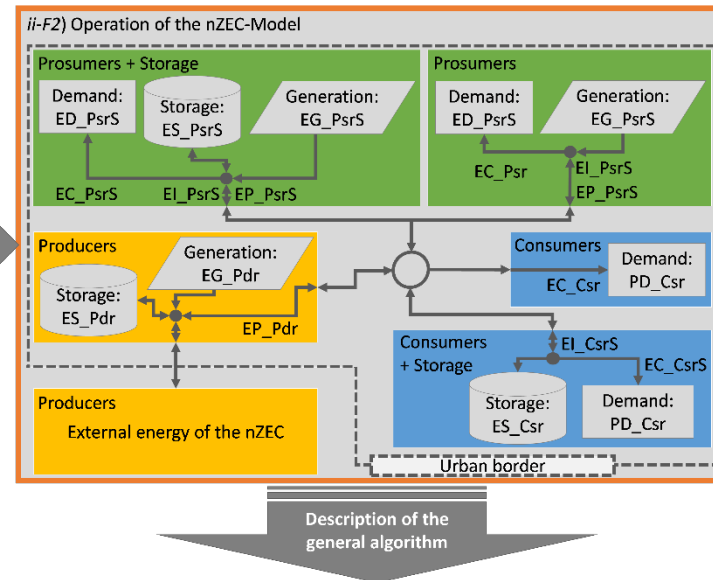
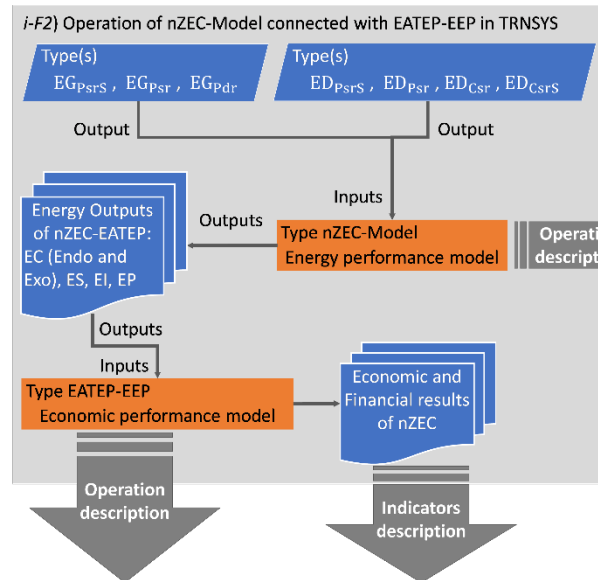
Manuel Villa-Arrieta

Fuente:

- Villa-Arrieta M, Sumper A. A model for an economic evaluation of energy systems using TRNSYS (2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918301703>
- Villa-Arrieta M, Sumper A. Costes de Consumidores- Prosumidores y Productores de energía en el marco de la autosuficiencia energética de Barcelona como Ciudad Inteligente (2018), <https://goo.gl/euBybM>

2.1 MODELO DE EVALUACIÓN DE nZECs

- Índice:
- Resumen y highlights
 - Transición energética urbana
 - nZEC
 - Barcelona
 - Resultados
 - Conclusiones

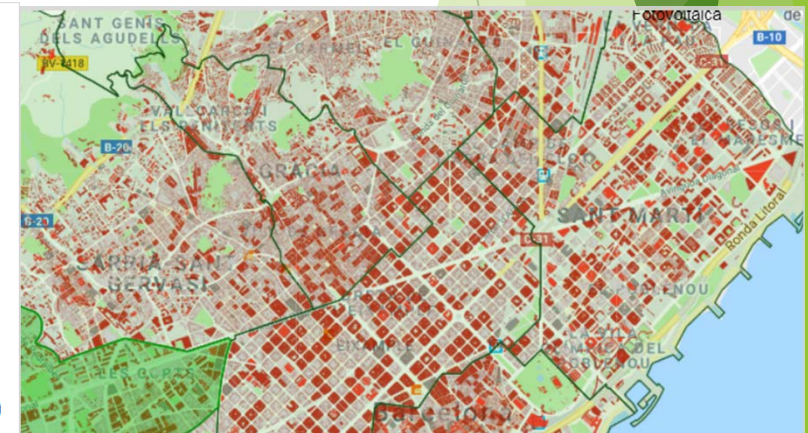
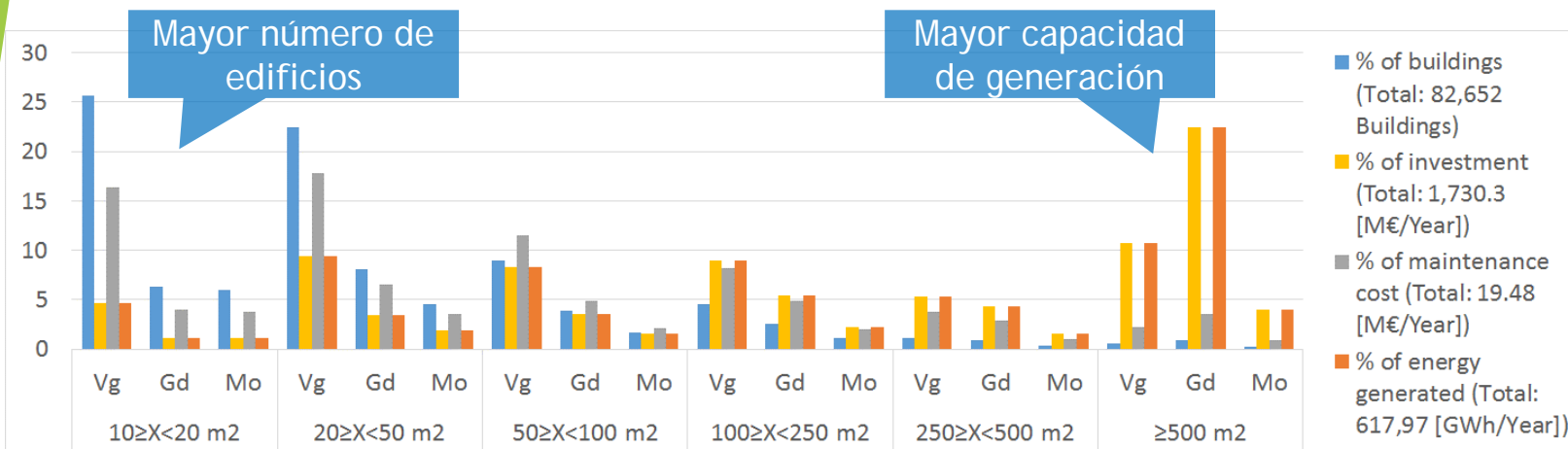


3. CASO DE ESTUDIO: BARCELONA

Características de la ciudad

- Consumo de energía eléctrica de entre 6.700 y 7.000 GWh al año.
- Tamaño 102,159 km²
- 75,3% de la energía eléctrica consumida en BCN proviene de generación propia o en el entorno del Besòs (Autoconsumo eléctrico del 29,7%. Potencia instalada de 2.591MW, 1.699MW Sant Adrià de Besòs y 982MW BNC).
- Aprovechando recursos locales renovables, el 1% respecto del consumo total.
- 238.213 Edificios en el *Mapa de recursos d'energia renovable de Barcelona*:
- 82,652 Edificios, 5,23km², 0,49GW y 618GWh

Capacidad de generación PV de la ciudad (Mapa)



Fuente: Barcelona Energia, A. de B. (2016a). ¿Cuánta energía puedes generar?. Barcelona Energia, A. de B. (2016b). Mapa de recursos d'energia renovable de Barcelona

Índice:

- Resumen y highlights
- 1. Transición energética urbana
- 2. nZEC
- 3. Barcelona**
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones

3.1 CASOS ESTUDIADOS

1. Consumidores y Productores aprovechan el recurso PV

- T: 36 años de evaluación económica (2014-2050)
- 52 hipótesis de inversión:
 - ✓ Por grupos de capacidad de generación (Escenario B-C)
 - ✓ Por grupos de superficies de tejados (Escenarios D-E-F)
 - ✓ Por porcentaje de edificios (Escenarios G-H)
 - ✓ Por selección de la capacidad de generación y superficie de tejados (Escenario I)
- Medidas de Eficiencia Energética en la façade:
 - ✓ Edificios unifamiliares (1 y 2 plantas) 23,8%; multifamiliares (>2 plantas) 26.9%
- Precios de electricidad y GN (Productores)

2. Prosumidores y GD local extra

- T: 37 años de evaluación económica (2013-2050)
- Hipotética comunidad de Prosumidores P2P: 38.700 nZEBs (2-6 plantas)
- Generación local extra en la ciudad: 43.952 tejados
- Datos de inversión en rehabilitación energética de edificios del ICAEN: Seis Paquetes: Pg 5 (Rehabilitación general) y Pg 6 (*Low cost*)
- Perfiles de generación PV y consumo de la ciudad de REE
- Tres tarifas eléctricas estudiadas: 2.0A, 2.0DHA, 2.0DHS

- Paneles PV:
 - ✓ 270 W
 - ✓ 2m²
 - ✓ 1250 kWh/kWp·Year
 - ✓ Lifespan: 25 años

Índice:
Resumen y highlights

1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

- Fuente:
- Villa-Arrieta M, Sumper A. Costes de Consumidores-Prosumidores y Productores de energía en el marco de la autosuficiencia energética de Barcelona como Ciudad Inteligente (2018), <https://goo.gl/euBybM>
 - Villa-Arrieta M, Sumper A. Economic evaluation of Nearly Zero Energy Cities (2019), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918319007>
 - ICAEN. Rehabilitació energética d'edificis (2016)

3.1 CASOS ESTUDIADOS

Caso 2: Paquetes de medidas activas y pasivas

- Paquete 1: Aislamiento de fachada para el exterior + aislamiento de cubierta para el interior + ventanas PVC y vidrio bajo emisivo.
- Paquete 2: Aislamiento de fachada para el interior + aislamiento de cubierta para el interior + ventanas PVC y vidrio bajo emisivo.
- Paquete 3: Aislamiento de fachada en la cámara + aislamiento de cubierta para el interior + ventanas PVC y vidrio bajo emisivo.
- Paquete 4: Aislamiento fachada exterior + aislamiento cubierta exterior + ventanas PVC y vidrio bajo emisivo.
- Paquete de rehabilitación integral: Aislamiento fachada exterior EPS 6 cm, aislamiento de cubierta interior MW 8 cm, renovación de caldera, ventanas marco PVC y vidrio 4/16/4 BE.
- Paquete de medidas *low cost*: Burlones, cintas adhesivas y masilla elástica + Aireadores y reductores de caudal de ACS + iluminación LED.

Índice:
Resumen y highlights
1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

3.1 CASOS ESTUDIADOS

Caso 2: Tipología de edificios

Distribution of buildings evaluated in Prosumers, Consumers and PV_Extra.
Source: [64–67].

	Code Subtotal	No. of floors	Type of building ^a	No. of buildings	Electric energy consumption [GWh/Year]
Prosumers	2F	2	A, B and C	12,463	61.787
	3F	3	D	6,238	41.853
	4F	4	I	4,842	245.457
	5F	5	E and H	7,082	339.516
	6F	6	F and G	8,075	274.779
	Subtotal	N/A	N/A	38,700	969.363
Consumers	Approach A	N/A	N/A	N/A	5,771.847
	Approach B	N/A	N/A	N/A	3,225.927
PV_Extra	N/A	No data	N/A	N/A	N/A
	N/A	1	N/A	2,135	N/A
	N/A	7	N/A	5,564	N/A
	N/A	8	N/A	3,606	N/A
	N/A	9	N/A	3,266	N/A
	N/A	≥ 10	N/A	3,636	N/A
	Subtotal	N/A	N/A	43,952	N/A
Total, Approach A	N/A	N/A	82,652	6,735.24	
Total, Approach B	N/A	N/A	82,652	4,189.32	

^a Type of buildings: Single family detached house: A, built before 1951; B, built between 1951 and 1980; C, built between 1981 and 1990; D, built after 1990. Multi-family building: E, built before 1951; F, built between 1951 and 1980 with collective boiler; G, built between 1951 and 1980 without collective boiler; H, built between 1981 and 1990; I, built after 1990.

Manuel Villa-Arrieta

Índice:
Resumen y highlights
1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

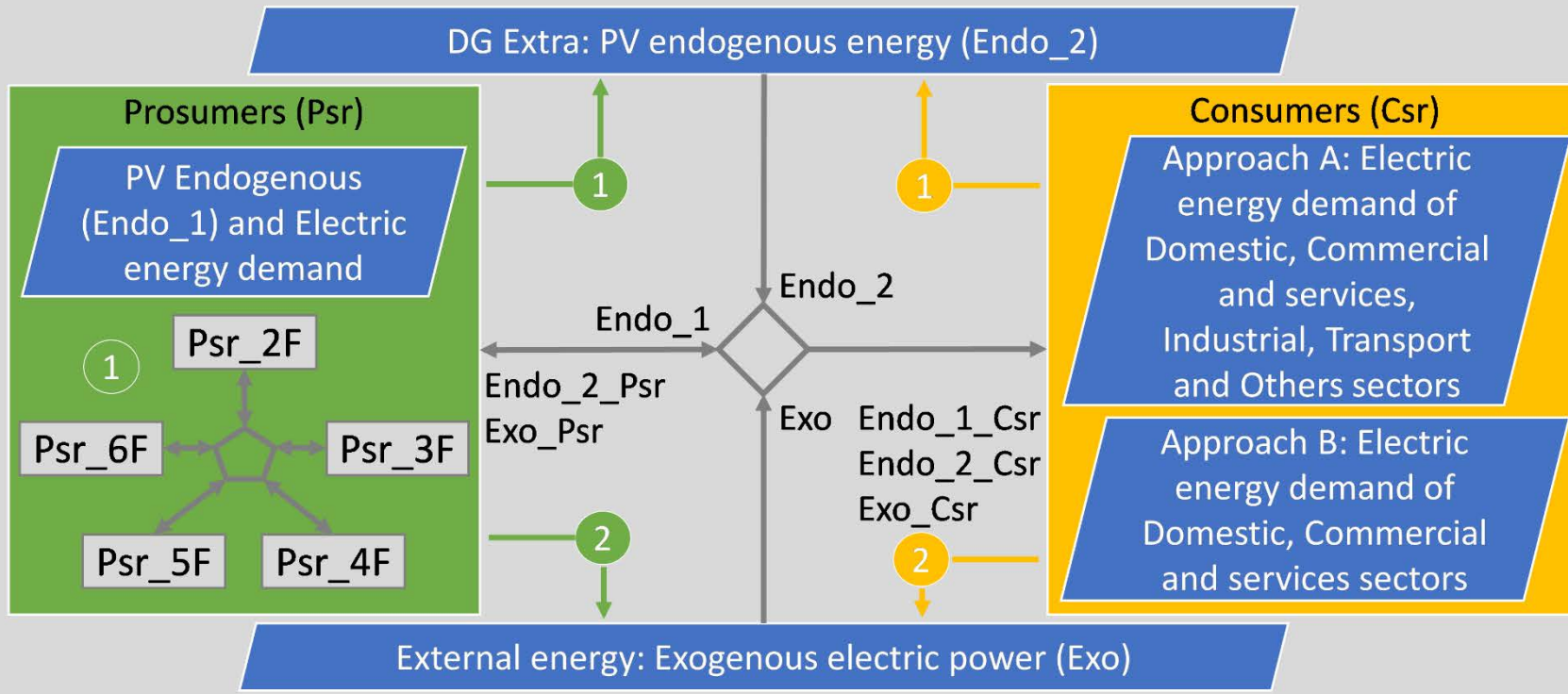
Fuente:
▪ Villa-Arrieta M, Sumper A. Economic evaluation of Nearly Zero Energy Cities (2019), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918319007>
▪ ICAEN. Rehabilitació energètica d'edificis (2016)

3.1 CASOS ESTUDIADOS

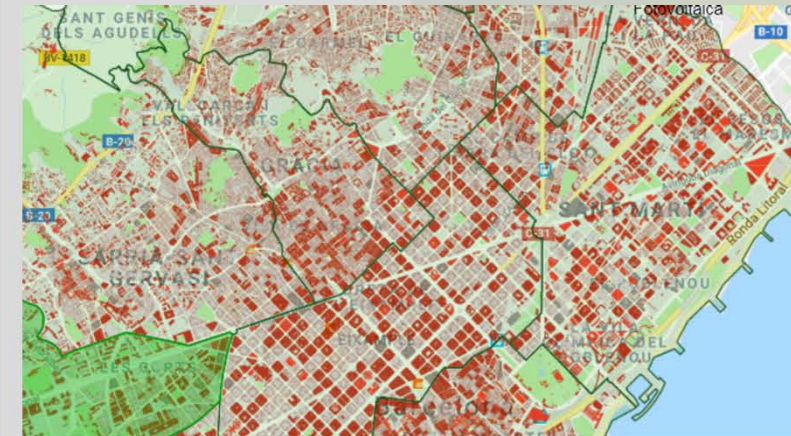
2. Prosumidores y GD local extra

- Índice:
- Resumen y highlights
 - 1. Transición energética urbana
 - 2. nZEC
 - 3. Barcelona**
 - 4. Resultados
 - 5. Conclusiones

i-F3) nZEC-EATEP model - Barcelona

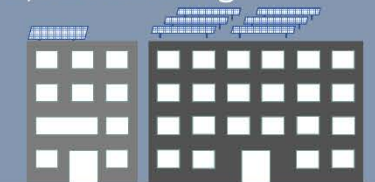


ii-F3) PV generation capacity data of Barcelona



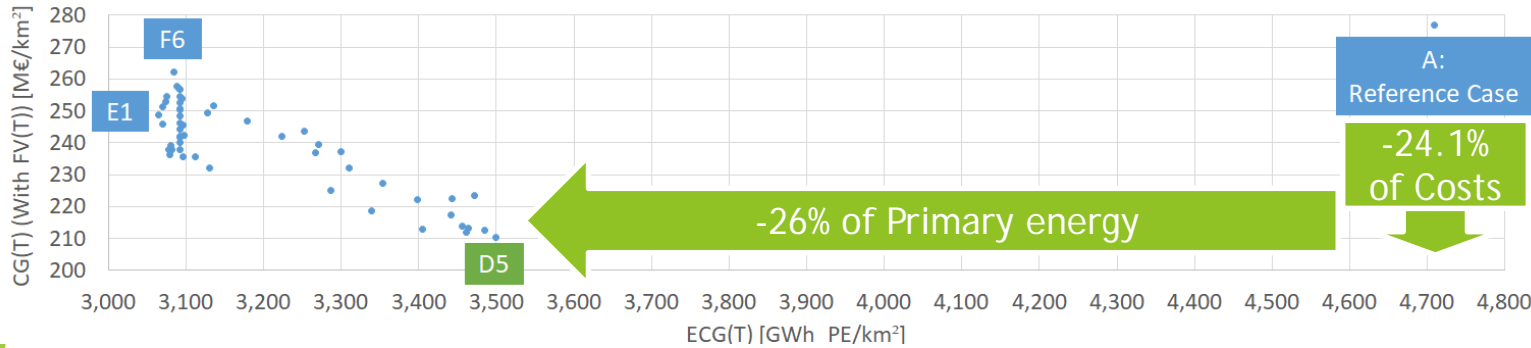
Psr: 38,700
 Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs)

DG Extra: rooftops of 43,952 buildings

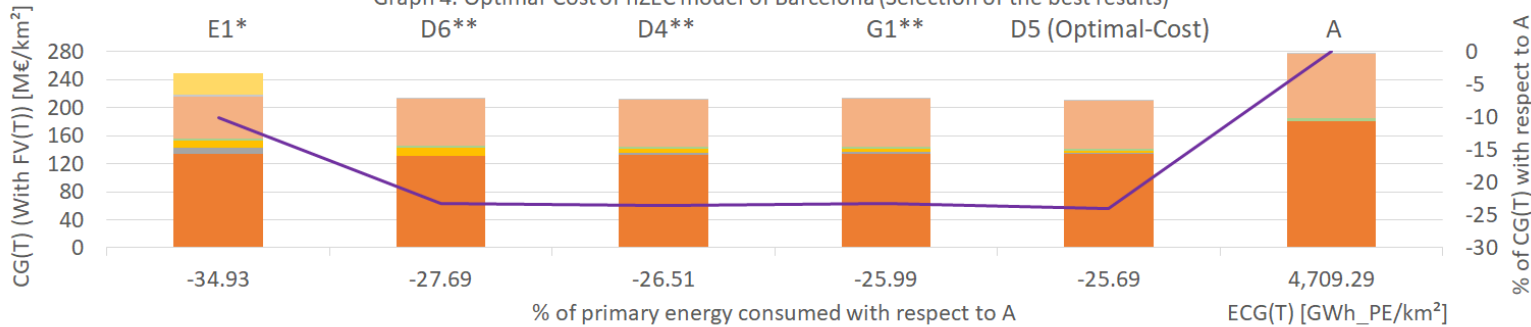


4. RESULTADOS CASO 1

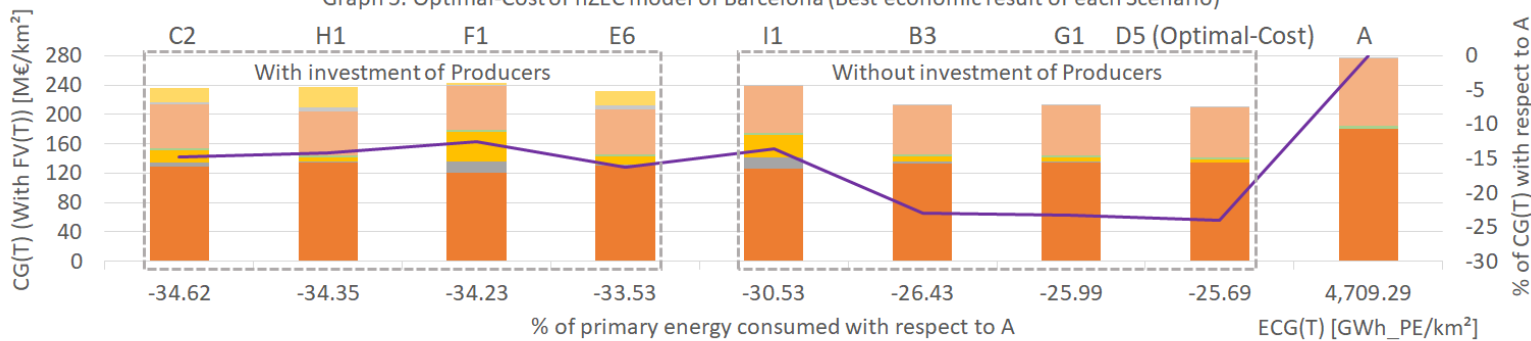
Graph 1. Optimal-Cost of nZEC model of Barcelona



Graph 4. Optimal-Cost of nZEC model of Barcelona (Selection of the best results)



Graph 5. Optimal-Cost of nZEC model of Barcelona (Best economic result of each Scenario)



Costo Óptimo: D5, los consumidores invierten en tejados de entre 250-500m²

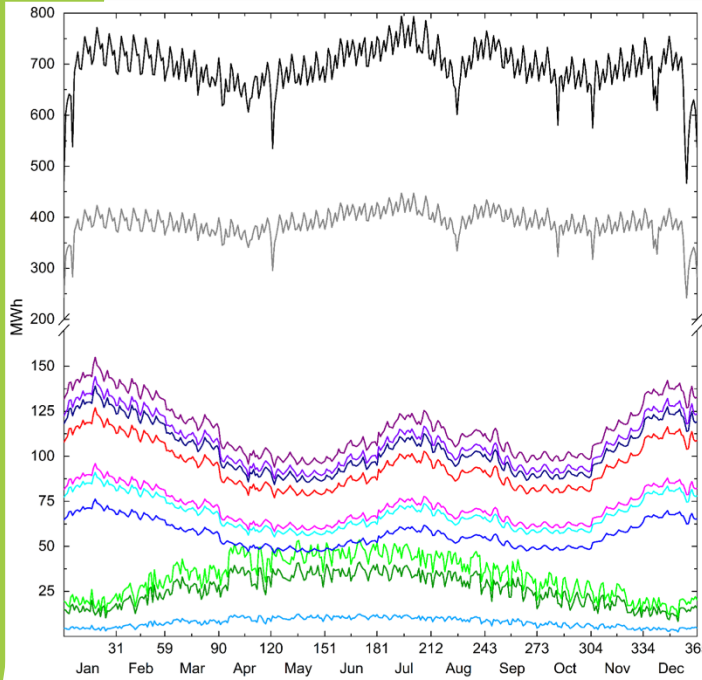
Mejores resultados cuando los Productores invierten

Índice:
Resumen y highlights
1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

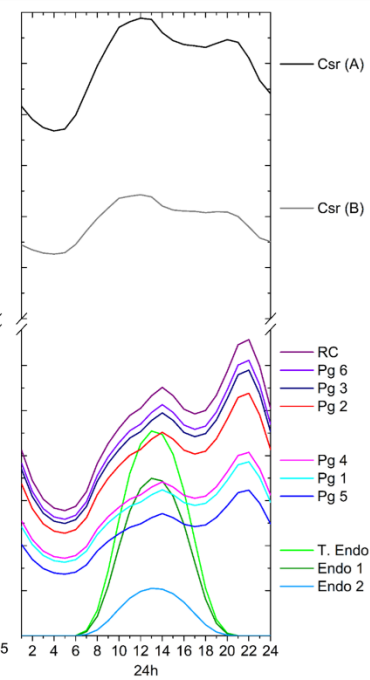
■ CMG(T)-Consumers
■ CIG(T)-Consumers
■ CRG(T)-Producers
■ CEG(T)-Consumers
■ CMG(T)-Producers
■ CIG(T)-Producers
■ CRG(T)-Consumers
■ CEG(T)-Producers
— CG(T)-City (With FV(T)) (Right axis)

4. RESULTADOS CASO 2

i-F4) Daily average of the annual profile

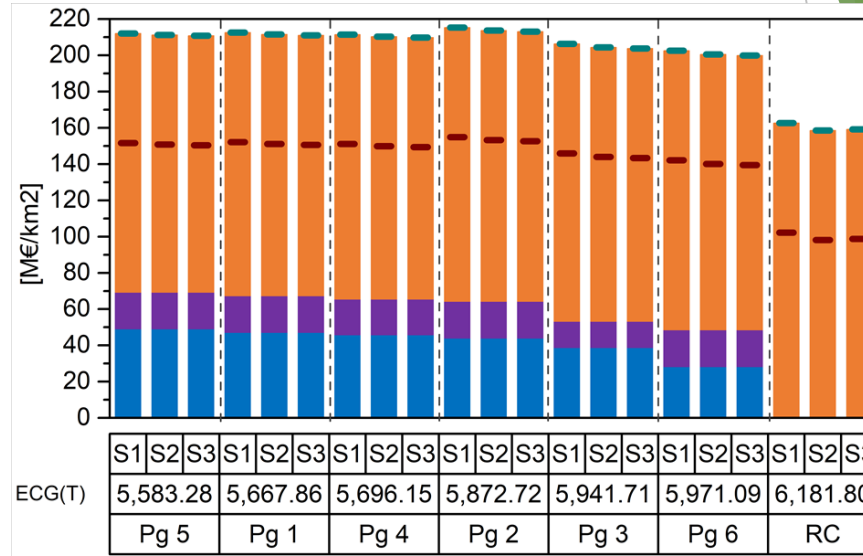


ii-F4) Hourly average of the daily profile

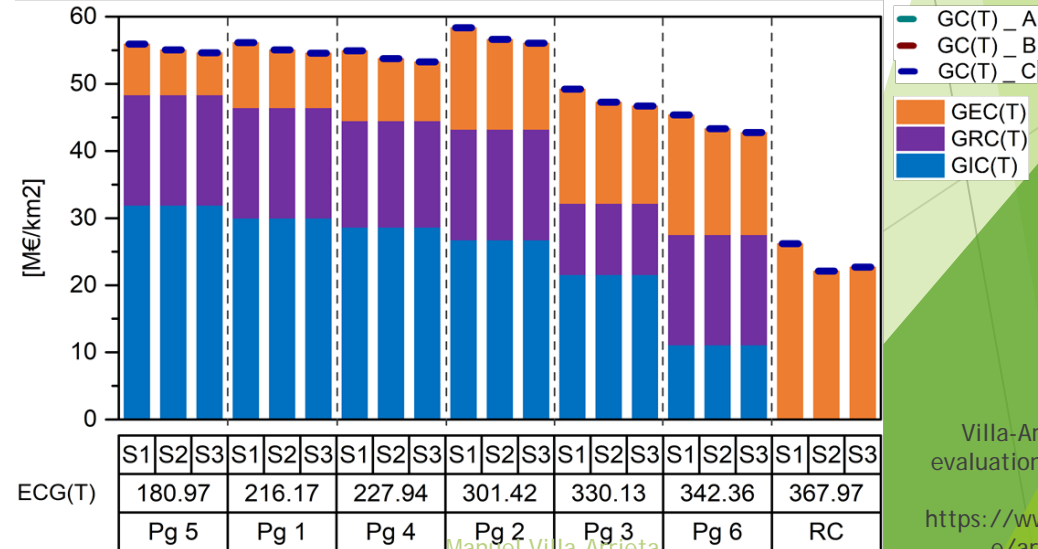


- Demanda A: doméstica, comercial y de servicios, industrial, transporte y otros.
- Demanda B: doméstica, comercial y de servicios.
- Demanda C: comunidad de Prosumidores.
- Endo 1: Generación de Prosumidores.
- Endo 2: Generación extra
- GC: Global Cost
- GEC: Global Energy Cost
- GRC: Global Running Cost
- GIC: Global Investment Cost

i-F5) A: Domestic, commercial and services, industrial, transport and other
B: Domestic and commercial sectors and services



ii-F5) C: Hypothetical community of Prosumers

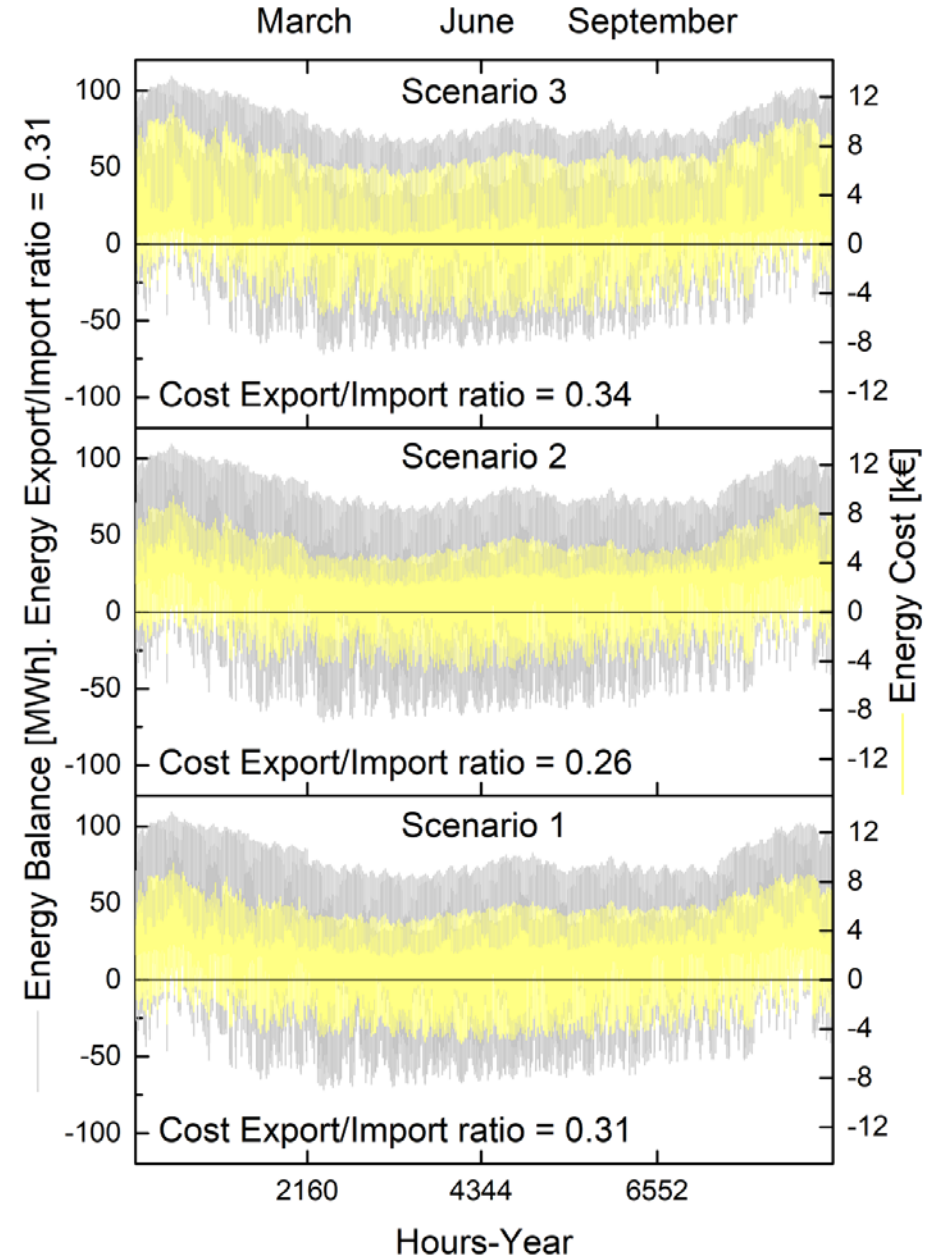


Índice:
Resumen y highlights

1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

4. RESULTADOS CASO 2

- Generación PV del 34,7% de los tejados de BCN (82.652 de un total de 238.213), e inversión en EEM-PV en el 17% de sus edificios:
- ✓ Reducción de 3,41-9,68% de energía primaria.
- ✓ Reducción de 4,16-12,25% en los costos de energía, y 5,16-11,43% de las emisiones de CO₂.
- ✓ El Paquete de rehabilitación general mejores resultados.
- ✓ El Paquete *Low cost* obtuvo el costo óptimo por GIC y GRC, pero no en el GEC (Paquete de rehabilitación general casi un 8% menos).
- ✓ La tarifa de tres períodos - mejor resultado GC.
- ✓ La comunidad de Prosumidores puede reducir su consumo de energía primaria hasta en un 51%, hasta el 70% de las emisiones de CO₂, y entre el 32-71,25% de sus costos de energía.



Índice:
Resumen y highlights

1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

5. CONCLUSIONES

- Cualquier consumo local de recursos EERR reduce el consumo de energía externa y a la emisión de GEI, pero ¿a qué coste?
- En el modelo nZEC se pueden considerar además del coste, indicadores de la efectividad de la transición energética urbana:
 - ✓ Autoconsumo “macro”
 - ✓ Participación de Consumidores, Productores y Prosumidores
 - ✓ Flexibilidad del sistema
- Directiva (UE) 2018/844 promueva la electromovilidad vinculada a la recarga en aparcamientos
- ✓ La tarifa 2.0DHS es acorde con el aprovechamiento del autoconsumo PV

Índice:
Resumen y highlights
1. Transición energética urbana
2. nZEC
3. Barcelona
4. Resultados
5. Conclusiones

Gracias

Manuel Villa-Arrieta

https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Villa-Arrieta

mvilla@funseam.com

