

Metodologia

En aquest document es detalla la metodologia seguida per a l'obtenció dels resultats mostrats en el mapa "Aprofitament fotovoltaic" en totes les parròquies analitzades. Aquest presenta el potencial fotovoltaic de les cobertes d'Andorra classificant-les segons el seu grau d'aprofitament.

El primer pas en l'anàlisi del potencial solar de les zones d'estudi és la caracterització del terreny mitjançant models digitals d'elevacions (MDE). A diferència d'altres estudis també centrats en l'àmbit urbà (Brito et al., 2012; Cellura et al., 2012; Redweik et al., 2013) però ubicats en zones planes, la influència de la topografia en el cas del Pirineu és determinant en els resultats finals. En aquest sentit, és important caracteritzar adequadament les muntanyes per tal de representar les ombres que provoquen i en conseqüència, la limitació provocada en el nombre d'hores d'insolació que s'obtindrà en les zones d'estudi.

En el cas d'Andorra, per tal de representar el terreny es disposa d'un ràster de resolució 5x5 m, adequat per captar de forma acurada l'efecte de les muntanyes sobre la irradiació però insuficient per representar les cobertes dels edificis. Així doncs, és necessari treballar a resolucions superiors, havent de gestionar arxius molt pesats. Per evitar simulacions molt costoses, és important limitar el màxim possible l'àrea considerada en cada zona d'estudi però incloent en el ràster l'àrea suficient per captar l'efecte de l'orografia. El procés seguit en l'estimació del potencial del recurs solar és el següent:

1. **Identificació de l'àrea geogràfica.** L'àrea d'interès a incloure en el ràster es determina mitjançant el mètode *viewshed*¹ el qual permet identificar les zones d'un ràster amb visió directa respecte un o varis punts. D'aquesta manera, i tenint en consideració la trajectòria solar, s'obté la zona a considerar en el MDE (muntanyes que generen ombres sobre edificis). La Fig. 1 mostra el *viewshed* d'Escaldes-Engordany amb el qual s'ha determinat aquesta zona d'estudi.

¹ <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/viewshed.htm>

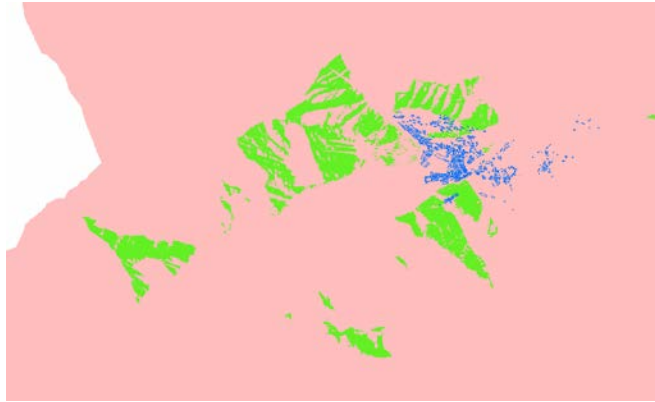


Fig. 1. *Viewshed* d'Escaldes-Engordany (verd: zona visible, blau: edificis)

2. **Definició del MDE.** Basant-se en el mètode descrit en el punt anterior es construeix el model 3D d'alta resolució representant els edificis i la topografia de forma acurada. Aquest MDE és la base de les posteriors simulacions. Tot i que un MDE de resolució 5x5 m és suficient per representar la topografia, les àrees urbanes requereixen de major resolució. En aquest model s'utilitzen dades LiDAR (*Light Detection And Ranging*) d'1x1 m de resolució, la mínima per representar de forma acurada característiques de les cobertes com el pendent, l'orientació o estructures adjacents i vegetació (Kodysh et al., 2013). La Fig.2 mostra el MDE d'Escaldes representant tant la zona urbana com la topografia influent en la irradiació solar.



Fig.2. Model 3D d'alta resolució d'Escaldes-Engordany i el seu entorn

3. **Simulació de la irradiació.** Per calcular la insolació de les àrees d'estudi s'ha utilitzat l'eina *Solar Analyst* d'ArcGis (Fu and Rich, 1999), la qual estima el valor

d'irradiació per cada punt del MDE. Els valors dels paràmetres utilitzats en les simulacions es mostren en la Taula 1.

<i>Day interval</i>	14
<i>Hour interval</i>	1
<i>Calculation directions</i>	32
<i>Zenith divisions</i>	8
<i>Azimuth divisions</i>	8
<i>Diffuse model type</i>	UNIFORM_SKY
<i>Diffuse proportion</i>	0,3
<i>Transmitivity</i>	0,5

Taula 1. Valors dels paràmetres utilitzats en les simulacions amb *Solar Analyst*

4. El següent pas consisteix en l'**extracció de la irradiació per cada coberta** mitjançant les capes d'edificis en 2D de les diferents parròquies i algunes correccions manuals per representar correctament els edificis. En aquest cas, disposar de bons cadastres és fonamental per assolir resultats fiables. A continuació, s'ha aplicat un llindar mínim aprofitable (1000 HSP²) de radiació anual per obtenir la superfície de coberta aprofitable per a cada instal·lació. Amb aquest llindar s'aconsegueix determinar la zona i àrea de la coberta que asseguri períodes de retorn de les instal·lacions inferiors als vint anys.
5. **Anàlisi tècnic.** La metodologia d'estimació del potencial d'aprofitament fotovoltaic conclou amb el càlcul de la conversió d'insolació a potencial de generació elèctrica a més de la integració de dades econòmiques (cost d'inversió i manteniment, períodes de retorn, benefici) i ambientals (estalvi d'emissions). En la integració de dades econòmiques s'han tingut en compte els ajuts proporcionats pel Pla Renova 2018³ en vigor des del 16/03/2018 i fins al 30/11/2018 o exhauriment de la disponibilitat pressupostària. Les característiques tècniques i els costos econòmics de les instal·lacions caracteritzades s'han establert gràcies a l'experiència de l'empresa SUD Pirineus S.L. i l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic d'Andorra. La Taula 2 presenta les característiques principals considerades en els càlculs.

² Hores solar pic

³ Per major detall: <https://www.mediambient.ad/renova>

Llindar zones aptes:	>1000 HSP	
Mòduls fotovoltaics:	1,7 m ²	250 Wp
Eficiència instal·lacions:	80%	
Cost instal·lacions:	Potència (kWp)	€/Wp
	P<=2	1,64
	2>P<=6	1,36
	6>P<=20	1,25
	20>P<=50	1,16
P>50	1,04	
Cost manteniment P<=50 kWp:	25	€/kWp·any
Cost manteniment P>50 kWp:	18	€/kWp·any

Taula 2. Característiques econòmiques i tècniques considerades en els càlculs

En el càlcul dels ingressos de les hipotètiques instal·lacions per la venda d'electricitat s'assumeix un increment del preu de la Tarifa C d'un 2% anual.

La Fig. 3 mostra el resum de la metodologia d'estimació del potencial d'aprofitament fotovoltaic de les cobertes d'Andorra.

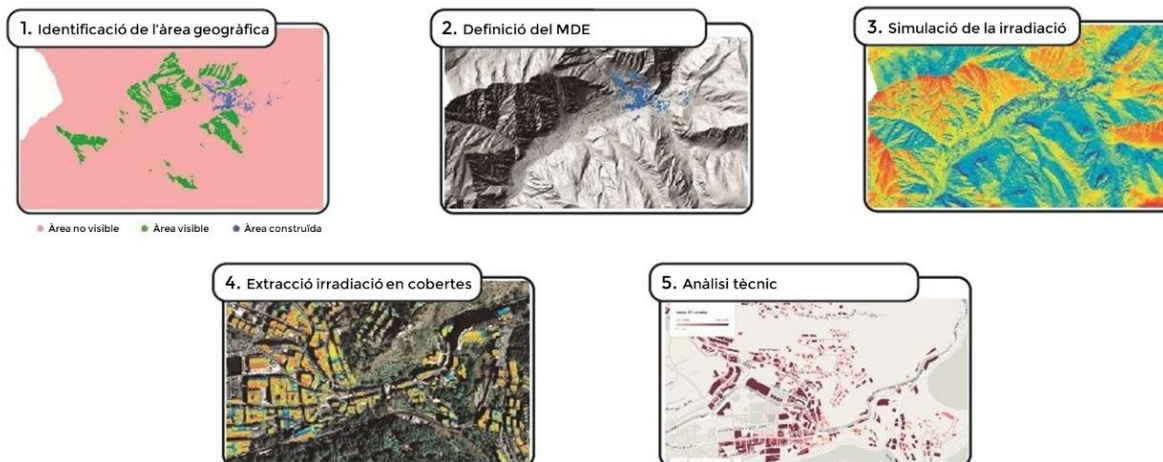


Fig. 3. Diagrama de la metodologia

Referències

- Brito, M., Gomes, N., Santos, T., Tenedório, J., 2012. Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Sol. Energy* 86, 283-288.
- Cellura, M., Di Gangi, a., Longo, S., Orioli, a., 2012. Photovoltaic electricity scenario analysis in urban contests: An Italian case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2041-2052.
- Fu, P., Rich, P.M., 1999. Design and Implementation of the Solar Analyst: an ArcView Extension for Modeling Solar Radiation at Landscape Scales. 19th Annu. ESRI User Conf. 1-24.
- Kodysh, J.B., Omitaomu, O.A., Bhaduri, B.L., Neish, B.S., 2013. Methodology for estimating solar potential on multiple building rooftops for photovoltaic systems. *Sustain. Cities Soc.* 8, 31-41.
- Redweik, P., Catita, C., Brito, M., 2013. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Sol. Energy* 97, 332-341.