



CANVI D'HORARI SEGONS L'ESTACIÓ I FUS HORARI ÒPTIM

ERIC JIMÉNEZ BARRIL-1599092
Grau en Matemàtiques-Taller de Modelització
Universitat Autònoma de Barcelona

21 de Febrero de 2022



Índex

1	Introducció	3
2	Simplificacions	3
3	Model	4
3.1	Determinar Sunrise (sortida del sol) i Sunset (posta de sol)	4
3.2	Energia generada per les plaques fotovoltaïques	4
3.3	Energia consumida diària i anual	5
3.3.1	Consum fix	5
3.3.2	Consum en il·luminació	6
3.3.3	Consum total d'energia	6
4	Aplicació del model: Decissió de l'horari a Catalunya	6
4.1	Càlcul de Sunrise i Sunset	7
4.2	Diferències entre consums	8
4.3	Valoració dels resultats	9
5	Altres factors	9
5.1	Canvis en l'estat d'ànim i organisme	10
5.1.1	Insomni	10
5.1.2	Estat d'ànim i depressió	10
5.2	Augment dels accidents de trànsit i laborals	10
5.3	Efectes de salut greus	10
5.3.1	Augment dels infarts de miocardi	10
5.3.2	Accidents cerebrovasculars	11
6	Discussió	11
6.1	Diferències entre la sortida i la posta de sol en funció de la latitud	11
6.2	Discussió per Catalunya	11
6.2.1	En termes d'energia i estalvi	11
6.2.2	Factors socials per l'horari a Catalunya	12
7	Conclusió	12
8	Apèndix (deducció de funcions i gràfics)	12
8.1	Càlcul de S_r i S_s	12
8.2	Càlcul de I_{max-m}	13

1 Introducció

Va ser al segle XVI quan, amb la construcció de rellotges mecànics, es va instaurar que els dies tinguessin una llargada de 24 hores. No va ser fins a 1784 quan Benjamin Franklin, que es va centrar en la investigació de la energia elèctria, va proposar el primer canvi a l'horari d'estiu, ja que pensava que al matinar s'aprofitaven més les hores del sol i això suposava un estalvi en la llum. No obstant, no va ser fins al segle XIX quan arriba el ferrocarril i s'estableixen horaris com els coneixem avui dia, que William Willet s'adonà que a les primeres hores del dia, les cases d'Anglaterra tenien les finestres tancades, el que suposava una pèrdua de llum (i en conseqüència d'energia). Tot i això, finalment es va fer el primer canvi d'hora a 1916 on l'Imperi Alemany juntament amb altres imperis i països per tal d'estalviar energia i recursos durant la primera guerra mundial. Els Estats Units i altres països d'Europa s'hi van sumar a la idea.

En el cas de Catalunya, que segueix l'horari d'Espanya, va mantenir l'horari UTC (el que havia de tenir per localització geogràfica) fins 1940, quan es pren la decisió a l'abril de mantenir l'hora d'estiu (UTC+1) i adaptar-la com la nova hora d'hivern. Així, el govern, que no va deixar cap tipus de document ni va publicar cap normativa d'aquest fet, adaptava la seva hora legal a Alemanya, la qual mantenim fins a dia d'avui. La pregunta que ens plantejem i responem en aquest treball és si realment és eficient el canvi d'hora i si el canvi fet a 1940 ens beneficia. Em creat un model per comparar les tres possibles situacions: el canvi d'horari, fixar l'horari d'estiu o fixar l'horari d'hivern, per tal de concloure si realment la primera opció ens estalvia energia i en cas contrari decidir quina de les opcions és millor.

2 Simplificacions

Per realitzar el model tindrem en compte les següents suposicions.

1. Dies del mes. Tots els dies d'un mateix mes tindran les mateixes característiques. Així, definim cada dia d'un mes com $d := (30 \cdot m - 15)$ on m es el mes.
2. Factors de rendiment de les plaques fotovoltaïques.
 - Inclinatori. En funció de la latitud, la longitud i la hora del dia, les plaques s'han de col·locar amb un determinat angle d'inclinatori per tal d'optimitzar el seu consum. Considerarem que les plaques estan col·locades amb aquest angle al nostre model.
 - Bateria. Suposarem que les plaques no tenen bateria ja que, en cas de tenir bateria, no caldria considerar les plaques fotovoltaïques al problema ja que si no la energia generada per les plaques seria un factor invariant per tots els horaris.
 - Rendiment i dimensions; clima. Les plaques fotovoltaïques tenen un rendiment que varia aproximadament entre 10 i 25%, en funció del clima. Considerarem un 17% i el denotem per η_{pf} . L'àrea d'un panell fotovoltaic (m^2), és d'entre 1.5 i 2 metres quadrats [5]. Per tant, considerarem que és $A_{pf} = 1.75 m^2$ i que tots els dies són assolats (per tal de tenir totes les hores possibles amb sol).
3. Horaris. Fixarem que tota la població es desperta i se'n va a dormir a la mateixa hora, S_a i E_a respectivament en dies laborals (D_l) i S_h i E_h en dies festius (D_f). De igual manera, l'horari laboral comença i acaba a S_w i E_w respectivament. A més, cada mes tindrà un nombre fix de dies festius i laborals. Així, suposarem que la persona no tarda un temps en desplaçar-se de casa al treball i viceversa, i que quan arriba a casa ja no torna a sortir en aquell dia.
4. Infraestructures. En el model totes les infraestructures seran o bé empreses/indústries o bé llars (LL). Les empreses/indústries seran o fàbriques ("F", englobarà totes aquelles empreses que tenen un horari de 24 hores, suposarem que treballen tot l'any) o serveis (S, englobarà totes aquelles empreses que tenen un horari diurn, suposarem de S_w a E_w i que a més respecten les festivitats). Totes les llars, fàbriques i serveis tindran el mateix consum respectivament. Durant el treball, algunes variables dependran de si són per llars, serveis o fàbriques, per facilitar la notació definim $A = \{LL, F, S\}$
5. Consum d'energia en il·luminació. Suposarem que durant les hores en que hi ha sol, en llars i serveis el consum en il·luminació és nul i que quan no hi ha sol, necessiten encendre els llums. En les fàbriques, no distingirem entre energia fixa i d'il·luminació ja que normalment tenen durant tot l'horari els llums encesos per tant considerarem que tot el consum és fix, a més, obrint 24 hores, el consum no dependria de l'horari.

3 Model

Ara procedirem a construir aplicacions que ens permetin calcular l'energia consumida depenent del tipus d'horari. Cal destacar que alguna part d'aquesta secció serà força tècnica i més enfocada al públic científic/matemàtic, però es donaran indicacions per que s'entengui el màxim possible.

3.1 Determinar Sunrise (sotida del sol) i Sunset (posta de sol)

Començarem per definir les funcions S_r (sunrise) i S_s (sunset). Requereixen un cert coneixement científic/matemàtic per entendre d'on es dedueixen; als apèndix 8.1, podeu trobar el desenvolupament de com s'han deduit. La fórmula està calculada utilitzant el fus horari UTC, per tant, per calcular a quina hora sortirà el sol a la nostra regió, caldrà fer la translació al nostre fus.

$$S_s(or S_r) = (720 - 4(l_o + ha) - eq_{time})/60 \quad (1)$$

On l_o és la longitud ($^\circ$) $l_o \in [0, 360)$, ha l'angle horari ($^\circ$), tenint en compte la rotació terrestre, i eq_{time} la equació del temps en minuts. Aquesta ens dona la diferència entre el temps solar mitjà (donat per un rellotge) i el temps solar aparent (mesurat per un rellotge solar). El concepte deriva de les diferents velocitats durant l'any del moviment de translació terrestre, així com la inclinació de l'eix de rotació terrestre respecte al pla de la seva òrbita.

Ambdós termes es calculen igual tenint en compte el signe de ha . Per tant, ja tenim definit a quina hora surt i es pon el sol (el resultat és en minuts, podem fer un factor de conversió per trobar-ho en hores).

3.2 Energia generada per les plaques fotovoltaïques

Trobarem una funció, que anomenem Pf_e , que ens permeti saber la energia produïda pels panells fotovoltaïques en funció de l'hora, el dia i el mes per habitatge (kWh/habitatge) i en la inclinació adequada.

En el següent gràfic, es pot veure la variació de la irradiància en funció del dia de l'any i la Constant Solar ($I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$)

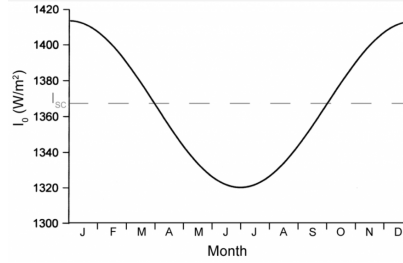


Figura 1: Irradiància solar en funció del dia de l'any.

Així, desenvoluparem dues funcions I_h i I_m que ens permeti trobar la irradiància (en W/m^2) segons la hora del dia i el mes de l'any respectivament. No tindrem en compte la desviació de la radiació produïda per l'atmosfera. Per desenvolupar les fórmules ens em guiat amb el gràfic i la informació de ITACA ([7]).

$$I_h = I_{max-m} \sin\left(\pi \left(\frac{h - S_r}{S_s - S_r}\right)\right) \quad h \in (S_r, S_s) \quad (2)$$

$$I_m = I_{sc} + 47 \cos\left(\frac{\pi}{6} \left(m - \frac{1}{2}\right)\right) \quad m \in \{1..12\} \quad (3)$$

Fixem-nos que, estem tenint en compte només les hores on hi ha sol. Suposem que les hores on no hi ha sol, la irradiància és nula.

Detall tècnic Com que en la equació de I_m donada pel gràfic, el segon factor és una ona elemental, tenim que la freqüència d'ona $w = \frac{\pi}{6}$, ja que la funció de la gràfica es una funció 12 periòdica (tenint en compte els 12 mesos de l'any). L'amplitud $A=47$ (aproximadament) i la fase inicial $\phi = -\frac{\pi}{12}$. (Realment I_m és una ona elemental però em realitzat una translació de mòdul I_{sc} per realitzar els càlculs).

Ara, calcularem I_{max-m} (irradiància màxima en funció del mes), que desconexim. Per fer-ho utilitzarem el següent fet.

$$\int_{S_r}^{S_s} I_h dh = I_m(S_s - S_r) \quad (4)$$

Ara, calculant la primera integral, podem obtenir una expressió de I_{max-m} (en 8.2 podeu trobar els detalls) i obtenim:

$$I_{max-m} = \frac{\pi}{2} I_m. \quad (5)$$

Per tant, la energia solar/unitat de superfície (W/m^2) rebuda en un temps Δt pel sol és:

$$E_s(\Delta t) := \int_{t_i}^{t_f} I_h dh \quad S_r \leq t_i < t_f \leq S_s \quad h \in \Delta t = [t_i, t_f] \quad (6)$$

On $[t_i, t_f]$ l'interval de temps que considerem.

Ja estem en condicions de calcular la energia produïda per un panell fotovoltaic, que denotarem per P_{fe} , en un determinat interval de temps Δt .

$$P_{fe}(\Delta t) = A_{pf} \cdot (E_s(\Delta t) \cdot \eta_{pf}) \quad (7)$$

3.3 Energia consumida diària i anual

En aquesta secció tractarem de veure quina és la energia consumida diària i anualment. Com que l'objectiu és trobar el millor sistema horari, que afecta principalment a la llum (en termes d'energia), considerarem que el consum elèctric anual és fix per tot allò que no sigui il·luminació, ja que les hores de les rutines (de treball, anar a centres d'estudi, extraescolars, etc) no varien generalment en funció de l'horari d'estiu o hivern.

Així, la energia consumida en un dia serà la suma del total de consums fixos diaris i la il·luminació tant en serveis com en llars. El cas dels fàbriques només tindrà energia fixa. Fixem-nos que aquesta energia dependrà del mes i de si el dia és laboral, on denotarem E_{cdl} , o festiu, on denotarem E_{cdf} .

3.3.1 Consum fix

El consum fix fa referència a l'energia consumida per aparells electrònics no relacionats amb la il·luminació (televisors, videoconsoles, electrodomèstics en cas de les llars, aparells, màquines, i altres en cas de fàbriques o serveis) i a possibles consums d'energia no-elèctrica com de calefactors, o calderes que considerarem aquí per tal de fer el model. Considerarem que aquest consum és fix cada dia i no depenen de la hora, és a dir repartim el consum total del dia. El que si que sabem és que depèn de si el dia es festiu o no. Els dies festius, caldrà feterminar el consum fix per F_f (Factor festiu), que determina l'increment del consum fix els dies festius. També depèn mes, i definirem una funció per calcular el factor de consum en funció del mes (F_m) que varia entre 0 i 1. Ens determinarà un consum en funció del mes de consum màxim (c_{mi}) on $i \in A$. Ens basarem en el següent gràfic de la REE [12] del consum d'una llar mitja en España. Només ens fixarem en les tendències i no en els valors, per tal de poder fixar uns altres en funció de la regió. La REE [12] explica que a pesar que el gràfic sigui el consum de les llars, les empreses segueixen un patró semblant (excepte en mesos com l'agost per les vacances, però nosaltres no les considerem).

$$F_m = \begin{cases} (-0.11(m-1) + 1) & \text{si } m \in \{1..4\} \\ (0.008(m-4) + 0.67) & \text{si } m \in \{4..6\} \\ 0.9 & \text{si } m=7 \\ (0.008(m-8) + 0.7) & \text{si } m \in \{8..10\} \\ (0.31(m-11) + 0.66) & \text{si } m \in \{11, 12\} \end{cases} \quad C_{fi}(m) = F_m(m) \cdot c_{mi} \quad (8)$$

on m és el mes, C_{fi} és el consum fix per $i \in A$.

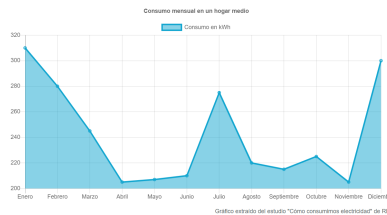


Figura 2: Gràfic del consum fix C_{fi} en llars a Espanya amb $c_{mff} = 310kWh$

3.3.2 Consum en il·luminació

Un cop tenim el consum fix, pasem a definir el consum en il·luminació en llars i serveis. Tindrem en compte la potència consumida (P_{ill} , P_{is} per llars i serveis respectivament) i podrem calcular el consum (C_{ill} i C_{is}), en funció de les hores de sol (ja que el consum d'il·luminació té lloc en les hores que no hi ha sol). Definirem per facilitar els càlculs Δ_{ollw} i Δ_{illw} els intervals de temps en que estem desperts a casa (i per tant consumint energia fixa), sense llum solar (per tant també lumínica) i amb llum solar (no gastem energia lumínica però si que generem, per tant es redueix el factor C_{flu}) -respectivament pels serveis- en un dia laboral. Δ_{ollh} Δ_{illh} anàleg per un dia festiu (considerant que no anem a treballar i que quan ens desperten el sol, en conseqüència els serveis estan tancats).

$$\Delta_{ollw} = [(min\{S_w, S_r\} - max\{S_a, S_r\}) + (min\{E_a, S_s\} - max\{E_w, S_s\})] \quad (9)$$

$$\Delta_{illw} = [(S_w - S_a) + (E_a - E_w)] - \Delta_{ollw} \quad (10)$$

$$\Delta_{ills} = [S_r - max\{S_w, S_r\}) + (min\{E_w, S_s\} - S_s)] \quad (11)$$

$$\Delta_{olls} = (E_w - S_w) - \Delta_{ills} \quad (12)$$

Les fórmules són fàcilment deduïbles per la definició que em fet de l'horari del dia laboral. Per tant, el consum ve determinat per:

$$C_{ill} = P_{ill} \cdot \Delta_{ollw} \quad C_{is} = P_{is} \cdot \Delta_{olls} \quad (13)$$

on només tenim en compte els dies laborals (ja que els festius els sumem a l'energia fixa -no depenen de l'horari escollit-).

3.3.3 Consum total d'energia

Ara, coneixent el consum per il·luminació, el consum fix i l'estalvi amb les plaques fotovoltaïques, tenim totes les dades i podem definir el consum total en dies laborals:

$$E_{cdl}(m) = \sum_{j \in A} [(j \cdot C_{fj} \cdot F_m(m)) - (N_{pfj} \cdot P_{fe}(\Delta t_j))] + LL \cdot C_{ill} + S \cdot C_{is} \quad (14)$$

on $\Delta t_l = \Delta_{illw}$, $\Delta t_f = [S_s - S_r]$ i $\Delta t_s = \Delta_{ills}$ i N_{pfj} és el número de panells fotovoltaïcs en llars, serveis i fàbriques. I en dies festius:

$$E_{cdf}(m) = \sum_{j \in A - \{S\}} [(j \cdot F_f \cdot C_{fj} \cdot F_m(m)) - (N_{pfj} \cdot P_{fe}(\Delta t_j))] + LL \cdot C_{ill} \quad (15)$$

Ara, definim E_{ca} (energia total consumida en un any).

$$E_{ca} = \sum_{k=1}^{12} [d_l \cdot E_{cdl}(k) + d_f \cdot E_{cdf}] \quad (16)$$

I per últim, definirem la despesa total D_a . Ve donat per:

$$D_a = P_{ll} \cdot E_{ca} \quad (17)$$

on P_{ll} és el preu de la llum (el preu oscil·la en funció de l'hora però el considerarem constant per tal de generalitzar la situació).

Ara, ja tenim el model per calcular el consum total anual d'energia.

4 Aplicació del model: Decissió de l'horari a Catalunya

En aquesta secció decidirem quina és la decissió més adequada per Catalunya (quedar-se amb l'horari actual, fixar el d'hivern o fixar el d'estiu).

Primerament, començarem per analitzar quina és la millor decissió per Catalunya des del punt de vista d'estalvi d'energia. Utilitzarem el model per trobar les diferències entre les tres decisions. Cal destacar que com que només volem trobar una decissió per l'horari, a una regió concreta, amb uns hàbits concrets, pot ser podem simplificar alguna part del model. Fixem les següents [dades](#):

Per la latitud i la longitud, fixarem una, el centre de Barcelona, considerant que és on més habitatges i indústria hi ha, a més de ser el centre de masses de la comunitat.

- $l_a=41.40$, $l_o= 2.17^\circ$, $F_h:= +1$ (o $+60$ si ho volem en minuts) en horari d'hivern i $+2$ en estiu.

Segons l'Institut d'Estadística de Catalunya [6], hi ha 637 772 empreses (la comunitat autonoma amb més empreses d'Espanya), 525 454 del sector serveis, 76 123 del sector de construcció i 36 195 d'indústria. Considerarem al sector de construcció com un servei, ja que generalment no treballen 24 hores i tenen dies lliures. Les dades de les llars són de 2011 però no s'han trobat més recents de fonts fiables.

- $S= 600\,000$, $F= 36\,000$, $LL= 3\,863\,000$, $P_r= 7\,500\,000$.
- D_l : A Catalunya és treballen 40 hores per setmana i 8 hores per dia. Per tant, tenim $D_l= (30*(5/7)) \simeq 21.43$. Per tant, prenem (per tal de modelitzar-ho) $D_l= \lfloor 30*(5/7) \rfloor = 21$. $D_f= 30 - D_l = 9$.

Segons l'ICAEN [5], hi havia 22490 instal·lacions d'autoconsum de les quals 22 460 eres fotovoltaïques (per tant com bé s'ha remarcat durant el text, podem no considerar les restants) en Catalunya. La distribució està feta per potències, per tal de ajustar-ho al nostre model, suposarem que les que tenen una potència inferior a 5kW són de llars, les que són entre 5 i 25 kW de fàbriques i les que tenen més de 25kW són de serveis. Hi ha mitja de 8 panells per les $N_{pfl}=17\,000$ instal·lacions en llars (representen un 75,72%), 25 en les $N_{pff}=4630$ instal·lacions de fàbriques (representen un 20,61%) i 100 en les $N_{pfs}=730$ de serveis (representen un 3,25%). Considerem Pll =Aquest preu oscil·la molt i sobretot els últims mesos en funció del dia i la regió, per generalitzar tindrem en compte la mitjana de l'últim mes segons Endesa. La mitja d'aquests útils dies ha estat d'un **preu mitjà** de 0.276€/kWh.

Fixem els horaris (Com no em trobat cap horari de Catalunya, pendrem els resultats d'un baròmetre que va fer el CIS [1] el març de 2017). El 35.5% dels espanyols (el percentatge més gran) se'n va a dormir entre les 23:00 i 00:00. I és també un percentatge d'un 35.5% els que s'aixequen entre les 7 i les 8. A més, l'horari laboral més comú fent mitjà amb l'horari de centres educatius, en Espanya (ja que no em trobat dades de fonts fiables de Catalunya) és de 8:30 a 17:30 amb una hora per dinar. Així, fixem: $S_a:= 7:00$, $S_h:=9:00$, $S_w:= 8:30$ i $E_w:=17:30$, $E_a:= 23:00$, $E_h:=24:00$

4.1 Càlcul de Sunrise i Sunset

El primer que farem serà estudiar la hora de la sortida i posta de sol durant l'any on es comparen els tres tipus d'horari. Els càlculs s'han fet amb les dades dels dies **exactes** (proporcionat per [11] i els dies simplificats (Simplificació 1). A continuació podeu veure la gràfica de la sortida i posta del sol amb l'horari simplificat (a l'apèndix podeu trobar la exacte).

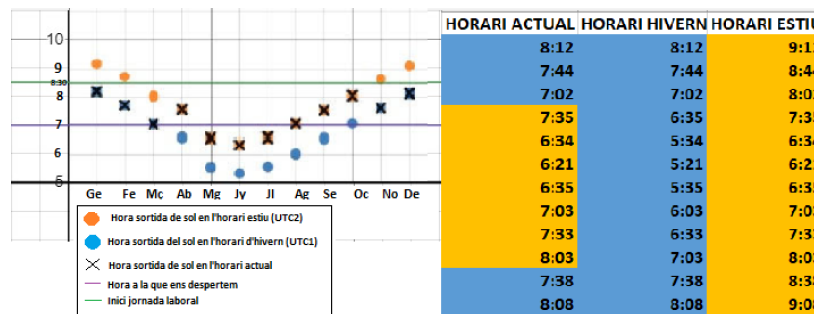


Figura 3: Gràfic i horari de la sortida de sol

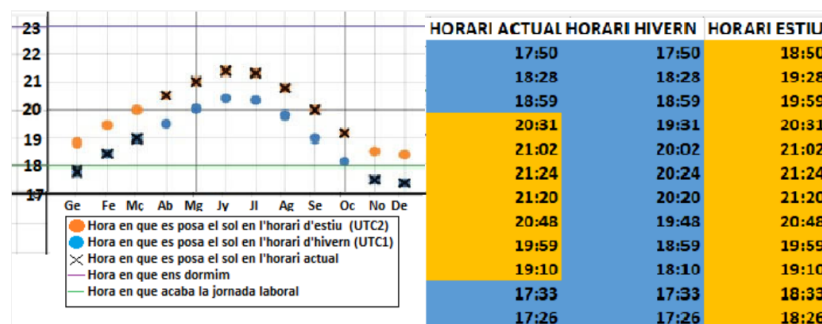


Figura 4: Gràfic i horari de la posta de sol

4.2 Diferències entre consums

Estudiem el consum a Catalunya. Ampliquem la fórmula (15) del consum:

$$E_{ca}(m) = \sum_{k=1}^{12} [d_l \cdot E_{cdl} + d_f \cdot E_{cdf}] = \sum_{k=1}^{12} [21 \cdot E_{cdl} + 9E_{cdf}]$$

on em de calcular E_{cdl} i E_{cdf} . Calculem primer E_{cdl} amb la fórmula (13).

$$E_{cdl}(m) = \sum_{j \in A} [(j \cdot C_{fj} \cdot F_m(m)) - (N_{pfj} \cdot P_{fe}(\Delta t_j))] + LL \cdot C_{ill} + S \cdot C_{is}$$

Observem que per qualsevol dels tres horaris, el factor " $j \cdot C_{fj} \cdot F_m(m)$ " és invariant per tot $j \in A$ i per tant el podem eliminar en els nostres càlculs. Així:

$$E'_{cdl} = LL \cdot C_{ill} + S \cdot C_{is} - \sum_{j \in A} [N_{pfj} \cdot P_{fe}(\Delta t_j)] \quad (18)$$

A la fórmula (16) que és el consum dels caps de setmana, és també constant pels 3 horaris, és a dir, no varia. Per tant, no la considerarem per trobar la diferència que és el nostre objectiu.

Per calcular el consum en il·luminació, tindrem en compte les següents dades.

- Podem trobar les dades dels càlculs de Δ_{ollw} , Δ_{ill} , Δ_{tl} , Δ_{tf} , Δ_{ts} , $[S_s - S_r]$ i F_m amb les dades de la figura 3, figura 4 i les equacions (8), (9)-(15) realitzats en un programa. Observem que $\Delta_{ts}=9$ llevat de 3 mesos. Per tant, el consum d'il·luminació en funció de l'horari variarà poc en comparació a les llars.
- Segons dades de la REE [12] -no em trobat específiques per Catalunya- una llar té de mitja 4kW contractats, dels quals el 16% es destinen a la il·luminació (per tant $P_{ill} = 0.64$ kW). En canvi, pels serveis (locals comercials) amb superfície major a 140m², la potència mitja contractada és de 7kW i la il·luminació representa un 50% del seu consum (per tant $P_{is} = 3.5$ kW). Per últim, en fàbriques (indústria) la potència mitja consumida és de entron a 15kW i el consum en il·luminació es d'entorn al 10%.

Ara, ja disposem de totes les dades. Calculem C_{ill} , C_{is} i $P_{fe}(\Delta t_j)$ per $j \in A$. Com que A_{pf} i η_{pf} és fix, només em de calcular $E_s(\Delta t)$. Recordem que, amb les operacions que podem trobar en l'apèndix, tenim:

$$E_s = \frac{\pi}{2} (1367 + 47 \cos(\frac{\pi}{6}(m - 0.5))) (\frac{S_s - S_r}{\pi}) (\cos(\frac{\pi(t_i - S_r)}{S_s - S_r}) - \cos(\frac{\pi(t_f - S_r)}{S_s - S_r}))$$

Em de calcular aquest valor per cada més i per cada tipus d'horari.

Ara, tenint aquestes dades i per la equació (17) modificada als consums que varien en funció del horari, tenim:

$$E'_{ca} = \sum_{k=1}^{12} [21 \cdot E'_{cdl}(k)] \quad (19)$$

on podem calcular el resultat final del nostre estudi.

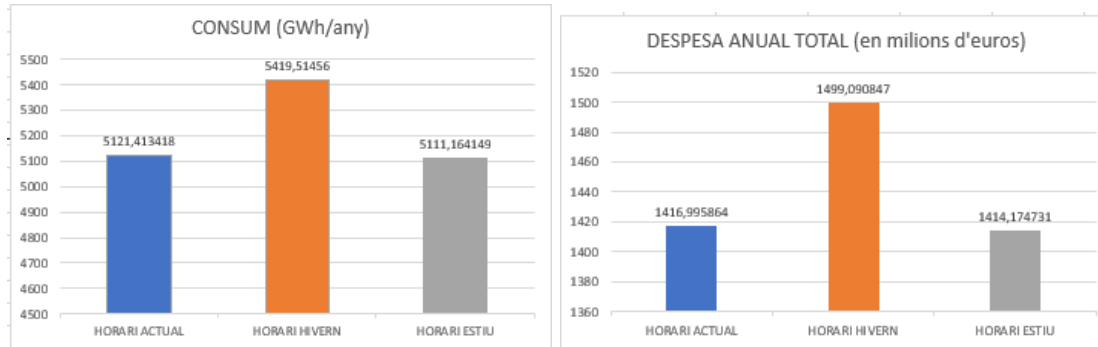


Figura 5: Comparació del consum i despesa en il·luminació per any a Catalunya

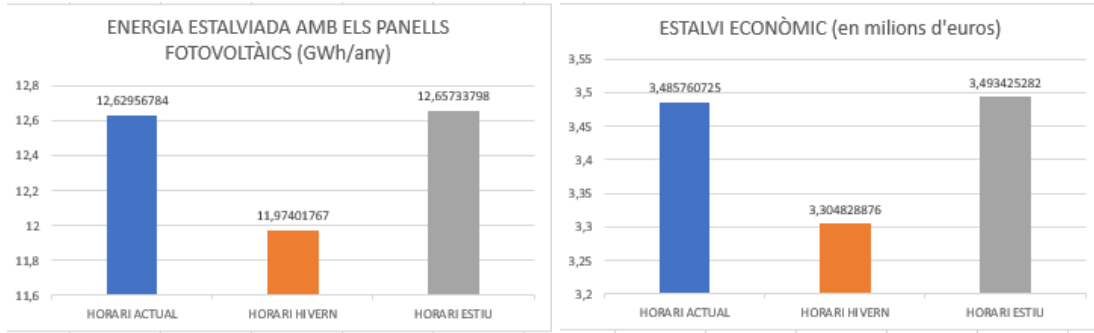


Figura 6: Comparació de l'estalvi energètic i econòmic en il·luminació generat per plaques fotovoltaïques per any a Catalunya

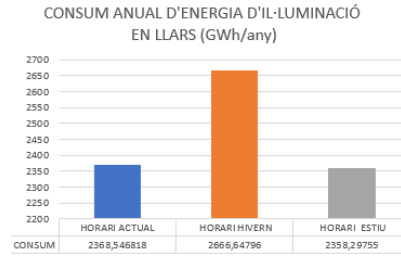


Figura 7: Consum anual en il·luminació en les llars

4.3 Valoració dels resultats

Valorem els resultats del consum en il·luminació i estalvi amb panells solars variant en funció de l'horari. Aquestes dades representen el consum de llum en hores on no hi ha il·luminació els dies laborals, tant en llars com empreses i l'estalvi en consum gràcies a les plaques solars fotovoltaïques.

NOAA Gboat Monitoring Division ens proporciona dades exactes de la sortida i posta de sol a Catalunya [11], així, podem fer una comparació entre les dades exactes i el nostre model de les hores que estem a casa amb il·luminació solar (Δ_{illw}) i sense (Δ_{ollw}). En el següent quadre podeu veure la comparació i l'error que em comés en el càlcul de Δ_{ollw} (Recordant que $\Delta_{illw} = (S_s - S_r) - \Delta_{ollw}$ i per tant l'error comés serà directament proporcional).

També podem veure la comparació dels resultats obtinguts al nostre estudi sobre el cosum i les dades proporcionades per l'ICAEN [13]. Les dades donades en ktep (kilotonelades equivalents al petroli) han sigut pasades a GWh tenint en compte que 1MWh són 0.086 tep. També s'ha tingut en compte que segons la REE [12] el percentatge de consum elèctric que correspon a l'il·luminació és del 16%.

	Δ_{ollw} (Hores amb il·luminació artificial /any)			CONSUM ELÈCTRIC EN IL·LUMINACIÓ (GWh/any)
	HORARI ACTUAL	HORARI HIVERN (UTC1)	HORARI ESTIU (UTC2)	HORARI ACTUAL (dels altres horaris no tenim dades exactes)
MODEL	1421,1	1565,7	1342,5	5121,41
DADES	1367,34	1526,38	1348,9	4651,2
ERROR	53.76 (3.78%)	39.32 (2.51%)	6.4 (0.46%)	470,21 (9,81%)

Observem que els errors en les diferències d'hores són petits, i per tant, a pesar que l'error en consum és d'ordre 10, el que ens interessa per prendre una decissió són les hores, per tant la diferència d'energia obtinguda ens pot ajudar a pendre la decissió.

5 Altres factors

Els canvis d'horari i els horaris fixats no només afecten al consum d'energia, si no que, a més, afecten a altres factors que podrien tenir-se en compte de cara a plantejar-se si realment l'estalvi energètic és suficient com per assumir la resta de conseqüències. En aquesta secció intentarem estudiar a quins altres factors pot afectar.

5.1 Canvis en l'estat d'ànim i organisme

En primer lloc, el canvi d'horari pot provocar efectes negatius en la nostra salut, influenciats principalment pels nostres "rellotges interns", el que es coneix com el nostre ritme cardíac. La desincronització que pateix dos cops per any, pot provocar malestar, irritació els dies posteriors al canvi, així com riscos a la nostra salut com depressió, obesitat, atacs cardíacs, inclús augment en casos de càncer i accidents automotivístics segons informa el Dr. Joseph Takahashi, president de Neurociència en UT Southwestern [8], un dels principals experts mundial en rellotges biològics i catedràtic en Neurociència.

No obstant, no hi ha una opinió conjunta a la comunitat científica de quina és la gravetat d'aquests canvis. Veurem alguns que poden resultar els més importants.

5.1.1 Insomni

El insomni s'associa comunment a l'estrés, però l'horari pot influenciar en la qualitat del nostre son. S'ha comprovat que l'efecte més immediat del canvi d'hora és l'alteració en la secreció de melatonina, una hormona que actua regulant els estats de vigília i son en funció de la llum solar. Amb més llum, es produeix menys melatonina, per tant, la funció d'induir el son que té aquesta hormona es produeix de forma més tardia i viceversa (és a dir, si s'enfosqueix molt d'hora, el cos genera més melatonina, el que provoca que el cervell indiqui al cos que s'ha de dormir). La desregulació de la melatonina pot provocar ressentiment, cansament i fatiga, inclús irritabilitat en les persones més sensibles.

5.1.2 Estat d'ànim i depressió

En l'horari d'hivern, el més freqüent és que gran part de les persones al sortir de l'interior dels seus llocs de treball o escoles, ja sigui fosc. Això significa que ens exposem menys al sol, lo que redueix la quantitat de vitamina D que produeix el nostre cos. Tenir baixos nivells de vitamina D provoca un mal estat d'ànim i pot causar depressió, inclús en casos més extrems fatiga, dolor muscular i debilitat als nostres ossos. A més, que en aquest tipus d'horari la posta de sol sigui tan d'hora, pot provocar l'inici d'un trastorn afectiu emocional, un tipus de depressió associat a la falta de llum.

El Departament de Ciències Polítiques de la Universitat de Copenhague [4], va publicar un estudi en 2017 que investigava els efectes de les transicions d'horari en la taxa d'incidència d'episodis depressius unipolars (que provoca entre altres, dificultat per concentrar-se, mantenir atenció i mostra un estat d'ànim deprimat). Van analitzar dades del Registre Central de Investigació Psiquiàtrica de Dinamarca entre 1995 i 2012, comprovant les tendències en l'incidència dels casos a hospitals, basant-se en més de 185 mil casos. Van concloure que la transició de l'horari d'estiu al d'hivern provoca un augment del 11% en la taxa d'incidència en casos d'episodis depressius unipolars, i no van poder treure cap conclusió en la transició del estàndard al d'estiu.

Per tant, sembla important escollir un horari en que es pugui tenir un despertar natural (amb sol) per tal que el nostre cos tingui energia per afrontar el dia i que la posta de sol no sigui molt tard (ja que això causaria un retràs en la secreció de melatonina) però podent gaudir de hores de sol per la tarda.

5.2 Augment dels accidents de trànsit i laborals

Stanley Coren, va publicar al 1996 un article [15] on s'argumentava que la falta de son i els ritmes cardíacs (alterats ambdós pels canvis d'hora) són un important problema per la salut pública. Gran part dels accidents de trànsit, importants accidents catastròfics: l'accident nuclear de Chernobyl (26 abril de 1986) o el desastre de Exxon Valdez (24 de març de 1989) entre altres; van estar (i estan) relacionats amb la falta de son, ritmes cardíacs ininterromputs o ambdues per part dels causants. Així, com ja em dit, el canvi d'hora provoca alteracions en el son i en el ritme cardíac els dies posteriors (depenent de la font s'indica que dura entre 3 i 6 dies) i per tant podria causar accidents d'aquest tipus (que es podrien evitar).

Un estudi realitzat a la Universitat de Michigan i publicat per la American Psychological Association [2] va determinar que els canvis d'hora provoquen una alteracions en la son i un augment en els accidents laborals els dies posteriors al canvi d'hora, més concretament en el de primavera, els quals es podrien evitar prescindint del canvi d'hora.

5.3 Efectes de salut greus

5.3.1 Augment dels infarts de miocardi

Dario Acuña Castroviejo, catedràtic de Fisiologia a la Universitat de Granada, va presentar al Parlament Europeu, al debat de 2018 sobre el canvi d'hora, una serie de dades on es demostraven efectes negatius del canvi d'hora on

es presentava aquest augment d'infarts. Segons el European Review for Medical and Pharmacologicla Sciences [14], el total de 88 estudis analitzats confirmen un augment en el nombre d'infarts de miocardi en el canvi de primavera de entre un 4 i un 29%. Només un dels estudis va treure resultats sobre un augment significatiu al canvi de la tardor. No obstant, la comunitat científica no té resultats conloents sobre aquest fet i continua en fase d'estudi.

5.3.2 Accidents cerebrovasculars

Un estudi realitzat per la Acadèmia Americana de Neurologia en 2016 [9], va mostrar que els accidents cerebrovasculars aumngmenten un 8% els dos dies posteriors al canvi d'hora de primavera. Aquest percentantge s'eleva fins al 25% en els pacients amb càncer i al 20% a persones grans, el que fa indicar que aquest augment de casos pugui ser pel canvi d'hora, però no s'ha pogut demostrar.

No obstant, tant aquest com els altres efectes, són conseqüències de o bé canviar la hora, o bé mantenir un dels horaris i per tant la societat els hauria de valorar a l'hora de pendre la decissió de escollir una de les opcions.

6 Discussió

6.1 Diferències entre la sortida i la posta de sol en funció de la latitud

Fixem-nos que el principal factor que ha influit en la diferència en els resultats del model ha sigut l'hora en que surt i es posa el sol. Així, aquest és un factor que depèn de la latitud i la longitud, però, tenint en compte que els fusos horaris es divideixen per longituds, em observat (veure 7.1 Càlcul de S_r i S_s) que amb longituds iguals, l'hora de sortida i posta de sol depèn de la latitud.

Així, a mateixa longitud, tenim mateixos fusos horaris (habitualment, ja que per exemple Espanya geogràficament està situat en UTC geogràficament però tenim els fusos UTC1 en hivern i UTC2 en estiu per motius politics). Veurem el cas de Pretoria (Sudàfrica, latitud= -25.73 i longitud= 28.3), El Caire (Egipte, latitud= 30.05 i longitud: 31.24) i Helsinki (Finlanda, latitud= 60.17 i longitud= 24.94). Les tres tenen aproximadament mateixa longitud (varia en 6 graus) però latituds molt diferents. Observem les diferències en la sortida i posta de sol.

Nota. Ja que Sudàfrica i Egipte no fan canvi d'hora en estiu, posarem les dades de Helsinki suposant que tot l'any tenen UTC2.

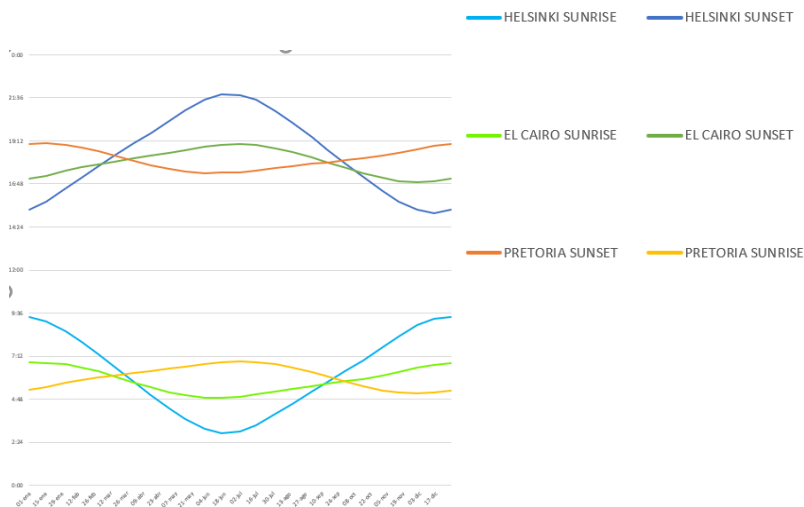


Figura 8: Comparació de la sortida i la posta de sol a Helsinki, Pretoria i El Caire

Observem que les hores de sol que hi ha a cada un dels païssos amb (aproximadament) mateixa longitud, són molt diferents i per tant, tenim un clar exemple de que l'argument si que depèn de la latitud.

6.2 Discussió per Catalunya

6.2.1 En termes d'energia i estalvi

En el cas de Catalunya tenim que el consum varia en funció del horari escollit. Com podem observar a les figures 5 i 6, l'horari en que es consumeix més energia i els panells generen menys és amb l'horari d'hivern UTC1. Així, en termes

d'energia, la decisió més adequada seria pendre l'horari d'estiu UTC2 (on és genera més energia amb els panells solars i el consum és menor). No obstant, cal notar que la diferència entre UTC2 i l'horari actual, és de aproximadament 10GWh consumits per any, el que suposa una despesa aproximadament de 2.8 milions d'euros. Aquest és un estalvi de 0.2% en consum d'energia i despesa econòmica. Així, fixar l'horari d'hivern suposa un augment del 6.1% en consum i despesa, el que comporta uns 308.4 GWh i quasi 85 milions d'euros.

Estudiem quin serien els estalvis en funció de les llars (ja que el estalvi per les fàbriques és insignificant en comparació a la seva facturació, pensant que fos tota la despesa -que no ho és-, en fàbriques, seria una diferència de 140€ a l'any i fàbrica).

En l'apèndix (7.3.3), figura 7, podeu trobar les dades del consum de les llars. Tota la diferència es en les llars, podem concloure doncs que per les fàbriques l'horari no és important a nivell econòmic, i la major diferència per les llars és entre l'horari d'estiu i d'hivern. Fixem-nos que una diferència de 85 milions d'euros, suposaria una despesa de 22€ per llar. Per tant, és un estalvi (dividint de manera regular) de 1.9€ per mes.

Per tant, la conclusió es que guiar-se pel consum d'energia no és la millor opció per escollir quin horari fixar o si seguir amb l'actual, hi és més adient tenir en compte els factors de la secció 5.

6.2.2 Factors socials per l'horari a Catalunya

Tenint en compte que la majoria dels factors negatius és produeixen amb el canvi d'hora, el més adient seria fixar un horari.

L'horari d'hivern, facilitaria tenir més hores de son i un despertar natural amb el clarejar del dia. A més, disposariem de totes les hores laborals (i a les escoles) amb sol.

En l'horari d'estiu tindriem dies en els quals fosqueja més tard de les 21, el que provocaria que el cos no segregués la suficient melatonina. Això suposaria a més que la població realitzaria activitats d'oci fins més tard i no descansarien lo suficient (tenint en compte que s'han d'aixecar per continuar amb la rutina).

L'únic motiu pel qual podem defensar el canvi d'hora front alguns dels dos horaris fixos, és que aquests millora i afavoreix la conciliació en les relacions treball-família, ja que als estius pots gaudir de més hores d'oci amb la família o amics.

7 Conclusió

El fet que Catalunya estigui en el fus horari d'Europa Central, provoca que el país (i en conseqüència Catalunya) adquireixi un desfassament entre la seva hora legal i la hora solar. Això, ha provocat que el ritme de vida dels catalans sigui diferent a la majoria dels europeus.

Catalunya té llargues tards durant gran part de l'any i els matins més foscos que gran part dels països veïns, això provoca, que els nostres hàbits i horaris siguin diferents.

Cal destacar que Catalunya presenta un dels valors més alts d'hores treballades i té una de les productivitats més baixes d'Europa, per tant, podríem plantejar-nos la necessitat de fer certs canvis en els nostres hàbits com a país per tal d'adequar aquestes a l'horari d'hivern (que és el que més ens beneficia a nivell de salut i horaris). Alguns dels exemples poden ser:

- Adelantar el prime time de la televisió i plataformes de stream, per tal que els catalans es fiquessin al llit abans i descansessin les hores recomanades.
- Reduir les pauses per menjar o fer jornades intensives, de manera que s'afavoreixi a la conciliació familiar i temps d'oci.
- Adelantar els horaris dels sopars, per tal de que el cos s'adeqüi als nous horaris. Inclús els horaris dels dinars en els casos on les jornades laborals (que idil·licament les presentem intensives) ho permetessin.

Considerem que aquests canvis juntament a fixar l'horari d'hivern, millorarien la vida dels catalans, a pesar que augmentaria la despesa en electricitat un percentatge gaire bé insignificant per gran part de les famílies catalanes.

8 Apèndix (deducció de funcions i gràfics)

8.1 Càlcul de S_r i S_s

Per definir-les, cal definir previament les funcions γ , Dec, T_{off} , tst i ha . Utilitzarem unes equacions que va publicar el NOAA Global Monitoring Division (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) [10].

- $\gamma :=$ Fracció de l'any (vist en angles -en radians- pensant en la translació respecte el Sol).

$$\gamma = \frac{2\pi}{\Delta T} \cdot (d - 1 + \frac{h - 12}{24}) = \frac{2\pi}{360} \cdot ((30 \cdot m - 16 + \frac{h - 12}{24})) \quad (20)$$

Considerem d-1 ja que el dia 1 es considera l'inici de l'any. Ara, podem calcular l'equació del temps en minuts i l'equació de la declinació solar que definirà la continuació.

- Dec:= Declinació solar (rad). És l'angle que forma el sistema Sol-Terra i el pla celeste de l'equador, que és la projecció de l'equador terrestre. Varia en funció de l'epoca de l'any, arribant al màxim en el solstici d'estiu i al mínim en el solstici d'hivern.

$$eq_{time} = 229.18(0.000075 + 0.001868 \cos(\gamma) - 0.032077 \sin(\gamma) - 0.014615 \cos(2\gamma) - 0.040849 \sin(2\gamma)) \quad (21)$$

$$Decl = 0.006918 - 0.399912 \cos(\gamma) + 0.070257 \sin(\gamma) - 0.0067558 \cos(2\gamma) + 0.000907 \sin(2\gamma) - 0.002697 \cos(3\gamma) + 0.00148 \sin(3\gamma) \quad (22)$$

Ara, volem calcular la hora solar, ja que aquesta, juntament amb la equació del temps, ens donaran l'hora de sortida i posta de sol. Així, definim:

- $T_{off} :=$ Time offset (min). El definim com el desplaçament de temps que pateix el sistema Terra-Sol durant l'any.

$$T_{off} = eq_{time} + 4l_o - 60F_h \quad (23)$$

- $tst :=$ True solar time (min). Ho definim com la hora en la que realment estem (tenint en compte el T_{off}).

$$tst = 60h + T_{off} \quad (24)$$

Definim com últim pas, l'angle cenital solar i l'acimut($^\circ$) i calculem també ha.

$$ha = \frac{tst}{4} - 180 \quad (25)$$

- $\phi :=$ Angle cenital solar ($^\circ$). És l'angle entre el sol i el pla vertical al punt en el qual ens trobem (pensant en aquest com un pla horitzontal a l'altitud). Aquest depèn de l'angle horari, la latitud i la declinació.

$$\cos(\phi) = \sin(lat) \sin(decl) + \cos(lat) \cos(decl) \cos(ha) \quad (26)$$

- $\theta :=$ Acimut ($^\circ$). És l'angle d'orientació sobre la superfície d'una esfera.

$$\cos(180 - \theta) = -\frac{\sin(lat) \cos(\phi) - \sin(decl)}{\cos(lat) \sin(\phi)} \quad (27)$$

Realment l'angle cenital podria definir-se com $\phi = 90^\circ - \text{elevació}$, però la elevació la desconexim i amb aquesta fórmula no cal saber-la explícitament (és el que es calcula).

Pel cas de la sortida o la posta del sol, el l'angle cenital es pot fixar i val 90.833° aproximadament. Per tant, podem reformular ha per simplificar els càlculs i tenim:

$$ha = \pm \arccos\left(\frac{\cos(90.833)}{\cos(lat) \cos(decl)} - \tan(lat) \tan(decl)\right) \quad (28)$$

On el terme positiu correspon a S_r i el negatiu a S_s .

Amb aquestes dades, podem determinar S_s i S_r . Prenent el fus horari UTC, tenim:

$$S_s \text{ (or } S_r) = 720 - 4(l_o + ha) - eq_{time} \quad (29)$$

8.2 Càlcul de I_{max-m}

$$\begin{aligned} I_m(S_s - S_r) &= \int_{S_r}^{S_s} I_h dh = \int_{S_r}^{S_s} I_{max-m} \sin\left(\pi \left(\frac{h - S_r}{S_s - S_r}\right)\right) \\ u &= \pi \left(\frac{h - S_r}{S_s - S_r}\right) \quad du = \frac{\pi}{S_s - S_r} dh \quad u \in [0, \pi] \\ \int_{S_r}^{S_s} I_{max-m} \sin\left(\pi \left(\frac{h - S_r}{S_s - S_r}\right)\right) &= I_{max-m} \left(\frac{S_s - S_r}{\pi}\right) \int_0^\pi \sin(u) du = 2I_{max-m} \left(\frac{S_s - S_r}{\pi}\right) \end{aligned}$$

Referències

- [1] Centro de Investigaciones Sociológicas, 2017-03. Barómetro de marzo de 2017, n. 3170:13 [↗](#)
- [2] Christopher M. Barnes and David T. Wagner, Michigan State University, 2009. Changing to Daylight Saving Time Cuts Into Sleep and Increases Workplace Injuries, *Journal of Applied Psychology, American Psychological Association*,, 94, n. 5:1305–1317. [↗](#)
- [3] Endesa, 2021. ¿Cuándo y por qué se cambia la hora? *Endesa>Blogs*. [↗](#)
- [4] Hansen, Bertel T. and Sønderkov, Kim M. and Hageman, Ida and Dinesen, Peter T. and Østergaard, Søren D., 2017. Daylight Savings Time Transitions and the Incidence Rate of Unipolar Depressive Episodes. *Epidemiology*,, 28:346–353. [↗](#)
- [5] Institut Català d'Energia, 2021. Ranking de municipis, comarques i províncies. *Observatori de l'autoconsum a Catalunya*. [↗](#)
- [6] Institut d'Estadística de Catalunya, 2021-02. Empreses i estableixements a 1 de gener per sector d'activitat i nombre d'assalariats. *Anuari estadístic de Catalunya → Economia → Empreses · Finances → Empreses*. [↗](#)
- [7] ITACA, 2005. The Sun As A Soucre Of Energi, Part 2: Solar Energy Reaching The Earth's Surface, Solar Photovoltaics. [↗](#)
- [8] Joseph S. Takahashi Ph.D, Chair of the Departament of Neuroscience at UT Southwestern, 2020-10. Why daylight saving time may be bad for your brain and health, *UTSouthwestern Medical Center*. [↗](#)
- [9] Jussi O.T. Sipilä and Jori Ruuskanen and Päivi Rautava and Ville Kytö, 2016. Does Daylight saving time increase risk of stroke? *Press Room of American Academy of Neurology*. [↗](#)
- [10] National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017. General Solar Position Calculator. *Global Monitoring Division*. [↗](#)
- [11] National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017. Solar Calculation Details. *Global Monitoring Division*. [↗](#)
- [12] Red Eléctrica de España. Cómo consumimos electricidad. [↗](#)
- [13] Rodríguez Villanueva, Paula, 2021-03. Balanç energètic de Catalunya 2018-2019 i balanç elèctric 2020. *Institut Català d'Energia*. [↗](#)
- [14] Roberto Manfredini, 2018. Daylight saving time and myocardial infarction: should we be worried? A review of the evidence. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*,, 22:750–755. [↗](#)
- [15] Stanley Coren Ph.D., 1996, University of British Columbia. Vancouver. Canada. Daylight Savings Time and Traffic Accidents. *The New England Journal of Medicine*:924 [↗](#)