



Contaminació lumínica: fenomen, efectes i abast

Manuel Garcia Gil

Departament de Projectes d'Enginyeria i la Construcció, Universitat Politècnica de Catalunya

LIGHT POLLUTION: THE PHENOMENON, THE EFFECTS AND THE RANGE. – This paper aims to demonstrate the problem and range of light pollution in the most sensitive ecosystems. This is a fairly recent phenomenon that has occurred since the massive industrialization of large cities in the mid-twentieth century, and many of its effects on the environment are still unknown. Living creatures have adapted their periods of activity and rest to the alternation between day and night, light and darkness, in order to maintain the relationships and interactions between species and with the environment. The most sensitive environments require very strict conditions of darkness, and very slight increases in light (lower than that produced by the moon) have repercussions on them and on the creatures that live in them. The source of light pollution is artificial night lighting, which generates intrusive direct light on the ecosystem. This light may cause disturbances in the areas close to it (usually less than 500 metres), which receive a direct impact from the light source. However, there is also indirect intrusive light, less powerful in intensity but reaching distances of tens of kilometres. It impacts on ecosystems through the celestial sphere, which acts as a transmitter of artificial light by reflecting it from cities.

Introducció

El planeta Terra es va formar fa més de 4.500 milions d'anys (Halliday, 2001). Durant els anys posteriors, es van succeir diferents etapes. Algunes d'elles en situacions singulars com la que va tenir lloc fa 850 milions d'anys, quan es va iniciar el període denominat Criogènic, que es creu que la Terra va estar totalment congelada (Hoffman *et al.*, 1998). A l'inici del Paleozoic, en el període Càmbric (fa més de 500 milions d'anys), es van desenvolupar les primeres formes de vida complexes, que es van adaptar a les condicions del planeta. Si ens centrem en la relació amb el Sol i el moviment de la Terra, va ser llavors quan es va establir la seva rotació. Actualment té una duració de 23 hores, 56 minuts i 4 segons. Els ecosistemes s'han adaptat a l'alternança de llum i fosc pel desenvolupament de les seves activitats (fotosíntesis, hàbits d'alimentació, migracions, etc.). I així ha estat fins a l'actualitat.

El període Quaternari, es defineix com aquell en què van sorgir els grans mamífers i a l'Holocè, durant l'última gran glaciació, quan sorgeix la civilització humana. (Grandstein *et al.*, 2004). L'home també s'ha adaptat a les variacions de llum solar, i com animal diürn, les activitats diürnes eren majoritàries, i les nocturnes, normalment se succeïen pel descans, cuinar, i d'altres tasques auxiliars (normalment més relaxades).



Figura 1. Quadre "Young man Reading by candlelight". De Matthias Stom (Wikipedia 2015).

Amb la Revolució Industrial, tot canvià de forma dràstica. Les necessitats de mecanització, d'intensitat de la producció, la població massiva a grans ciutats i la millora en sistemes de transport i concentració de capital, van obligar a generar sistemes d'activitat de 24 hores al dia (Iñigo Fernandez, 2012).

La creació de les condicions necessàries per a aquestes activitats han tingut diferents repercussions en l'ecosistema natural. En el cas del condicionament dels espais exteriors amb il·luminació

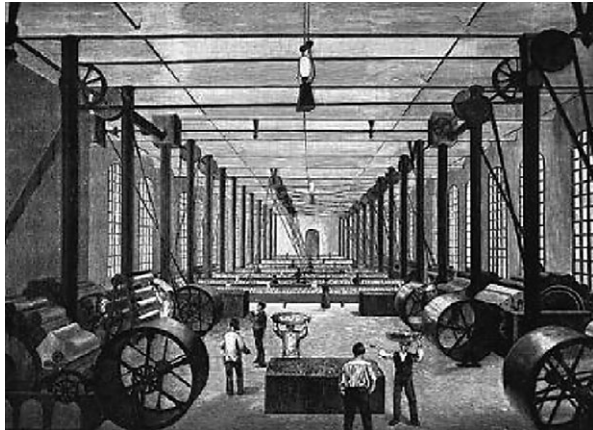


Figura 2. Il·luminació d'una fàbrica (Kalipedia, 2012).



Figura 3. Collita amb una llum d'arc elèctric al 1882 (Carolyn, 2015).

artificial durant la nit, ha creat el que es denomina: contaminació lumínica

Una definició acceptada, del que és la contaminació lumínica és la següent:

“Light pollution is any adverse effect of artificial light, including sky glow, glare, light trespass, light clutter, decreased visibility at night, and energy waste. Light pollution wastes energy, affects astronomers and scientists, disrupts global wildlife and ecological balance, and has been linked to negative consequences in human health.” (DARKSKY, 2015).

On es considera com la representació dels efectes adversos produïts per l'enllumenat artificial nocturn en el seu entorn. De forma genèrica, es coneix la contaminació lumínica per dos efectacions principals (Narisada i Schreuder, 2004):

Resplendor lluminosa: Increment de la brillantor natural de la cúpula celeste durant la nit.

Intrusió lumínica: Introducció de llum en un entorn que no hauria de ser-hi, i necessita fosc per a què es desenvolupin les activitats que allí tenen lloc de forma natural.



Figura 4. Resplendor lluminosa de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Garcia Gil i Estrada Garcia, 2014).



Figura 5. Guineu enlluernada (Garcia Gil i Estrada Garcia, 2014).

L'abast de la contaminació lumínica és un aspecte per tractar i investigar. Per contra del que pugui semblar, els ecosistemes més sensibles poden veure's afectats, per instal·lacions que es troben a llargues distàncies.

Per una altra banda, el creixement de la problemàtica és exponencial, i es creu que si es realitza una política de renovació d'instal·lacions sense consideracions mediambientals, es podria multiplicar per tres o quatre vegades la contaminació lumínica actual (Falchi et al. 2016).

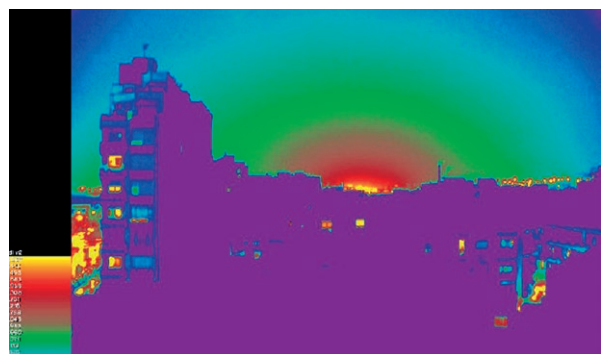


Figura 6. Increment de la brillantor del cel gràcies a l'encesa d'un camp esportiu a més de 3 kilòmetres de distància (Garcia Gil, 2012).

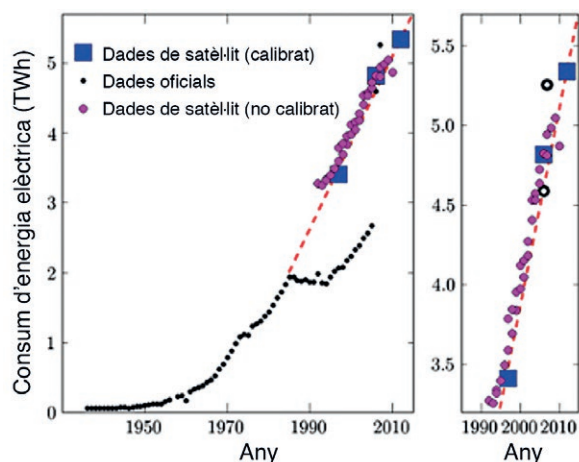
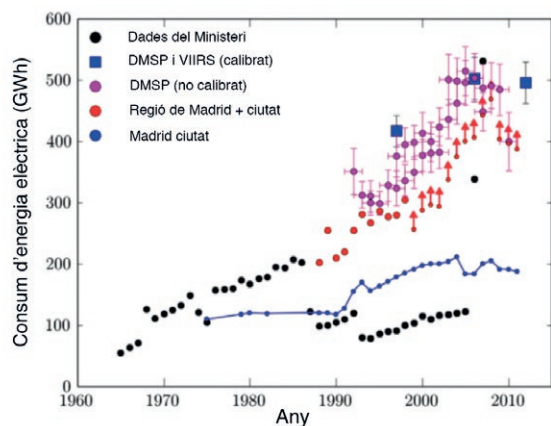


Figura 7. Evolució de consum energètic a Madrid (Sánchez de Miguel *et al.*, 2014)

Hi ha estudis que han constatat un increment molt important de la radiació mesurada per satèl·lit, és a dir, de les instal·lacions d'enllumenat artificial, i de les seves repercussions ambientals (Beniie *et al.*, 2014).

En aquest context, un increment d'aquesta problemàtica, suposaria un augment de les repercussions a l'ecosistema.

Afectacions i repercussions a l'ecosistema nocturn

Als ecosistemes naturals, existeix una simbiosi necessària, entre nit i dia (Rich i Longcore, 2006; Minnaar *et al.*, 2015):

- Vigília i activitat
- Descans i treball
- Refredar i escalfar
- Floració i hibernació...

Les espècies i la seva evolució han arribat a ser diürnes, nocturnes, crepusculars, o fins i tot mixtes. Tot i això, val la pena recalcar, que un gran nombre d'espècies del planeta són principalment nocturnes: La majoria de ratpenats, un 60% dels mamífers, un 30% dels primats, un 90% dels am-

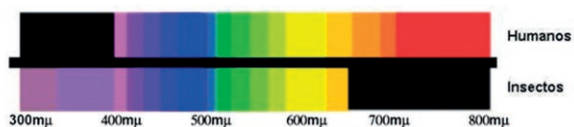


Figura 8. Comparació de la sensibilitat de l'espectre de visió dels humans i els insectes. (Dolsa i Albarrán, 1998).

fibis, la gran majoria d'artròpodes i papallones, etc. (Holker *et al.*, 2010)

Estem doncs, davant d'una gran quantitat d'animals que han adaptat els seus comportaments i fisiologia a les condicions de foscor. A més, la majoria d'aquests animals de comportament nocturn, tenen les seves cèl·lules fotoreceptores orientades a radiacions d'ona curta, o el que seria visió escotòpica (Perking *et al.*, 2013).

Altres animals que desenvolupen les seves activitats, es mouen amb sistemes de visió molt diferents al nostre. Els ratpenats fan servir senyals de ràdio (Lacoeuilhe *et al.*, 2014; Cryan, 2014); les serps sembla ser que tenen sensors d'infraroigs, hi ha aus amb visió tetracromàtica, etc. En general, es pot dir que la visió nocturna és més sensible a les radiacions d'ona curta (radiacions UV, o colors blavosos).

Els efectes de la contaminació lumínica sobre els ecosistemes nocturns encara són molt desconeguts. Alguns s'enumeren a continuació:

Efectes sobre les plantes: Augment de la llum en etapes nocturnes pot ocasionar desfasaments en els processos com la caiguda de fulles, períodes de creixement, floració, etc. (Tuhárska, 2014)

Efectes sobre els insectes: Fixació o captació a punts brillants (Davies *et al.*, 2012), efectes barrera a punts d'alta lluminositat (Rich i Longcore, 2006), pèrdua de visió per una exposició a llum intensa (per un període de fins a 30 minuts), posició d'ous a zones il·luminades, pèrdua de la navegació (Froy *et al.*, 2003), pèrdua de missatges de reproducció (com a les Lampyridae) (Bird i Parker, 2014), etc.

Un cas singular és el d'alguns insectes nocturns com el *Scarabaeus laticollis* que s'orienta per la Via Làctia per tornar al seu cau (Dacke *et al.*, 2013).

Efectes sobre els amfibis: Aquests són especialment sensibles a la contaminació lumínica. Hi ha efectes sobre l'activitat de farratge (Buchanan, 1993), de fixació de la femella (Rich i Longcore, 2006), retard en el creixement dels capgrossos a nivells lumínics molt baixos (Buchanan, 1993), etc.

Efectes sobre les aus: Efecte barrera o desorientació durant la migració. Els impactes als edificis són una causa de mort molt important, fins al punt que Nova York a l'etapa de migració d'aus apaga la il·luminació ornamental de gratacels (Kinver, 2010; News, 2015).

També hi ha efectes sobre la quantitat de menjar recollit a l'etapa de farratge (*Falco naumanni*, *Fulica atra*...) (Santos *et al.*, 2010), dificultat a l'ocultació d'aus predadores per nivells lumínics molt reduïts, increment del cant dels ocells al matí (*Eritheta-*



Figura 9. Efecte dels fars sobre espècies voladores nocturnes, insectes i aus (Montevecchi, 2006).

cus rubecula, *Turdus merula*, *Turdus migratorius*). (Kempnaers *et al.*, 2010, Bulyuk *et al.*, 2014), variacions a períodes reproductius per determinades espècies que es veuen afavorits pels seus hàbitats (Gwinner i Brandstätter, 2001), etc.

I un llarg etcètera, també en rèptils, peixos, plàncton, etc (Aronsoo *et al.*, 2015; Bruning *et al.*, 2015, 2016; Poiani *et al.*, 2015; Macgregor *et al.* 2016; Thomas *et al.*, 2016; Thums *et al.*, 2016).

Els nivells lumínics i el tipus de llum que tenen més incidència en aquests hàbitats són totalment depenents del tipus d'entorn i espècie analitzada. Però de forma general es pot afirmar que:

La llum amb component blau és més agressiva a l'ecosistema natural. Això vol dir que la llum més contaminant és la llum blanca, especialment aquella més freda. I la menys contaminant aquella més càlida, especialment la groguenca (làmpades tipus vapor de sodi o led PC-Ambre) (Perkin *et al.*, 2011; Garcia Gil *et al.*, 2012).

La intensitat de llum també és un element determinant per avaluar l'impacte de la llum. En els ecosistemes més sensibles, una intrusió de llum equivalent de nivells inferiors a la Lluna (inferiors a 0,3 lux, en magnituds luminotècniques), són suficients per crear repercussions en els éssers vius (Gaston *et al.* 2012, 2015).

Com a ordre de magnitud, la il·luminació dels carrers durant la nit és entre 5-25 lux.

L'abast de la contaminació lumínica

La font de la contaminació lumínica és l'enllumenat artificial nocturn a l'exterior. Aquest, pot tenir múltiples procedències: Enllumenat de carrers, indústries, de vehicles, de comerços, espectacles, domèstic, etc. Tot i que hi ha alguns estudis que determinen la influència d'un o un altre (García Gil i González Dorta, 2016), de forma general el més important és l'enllumenat de vies de trànsit, i grans indústries.

Els estudis més coneguts, i els models matemàtics més utilitzats, són els que avaluen la bri-

llantor celeste, pel perjudici que hi ha a l'observació astronòmica. Els models més utilitzats estan realitzats per tres físics (Garstang, 1991; Aube *et al.*, 2005; Kocifaj, 2007), i han ajudat a poder avaluar l'impacte de l'enllumenat a grans observatoris astronòmics, com el de La Palma (Aubé i Kocifaj, 2012), o poder predir un mapa mundial de contaminació lumínica al cel (Falchi *et al.*, 2016). És àmpliament conegut, que l'abast de la problemàtica a l'observació d'estels pot arribar a més de 100 km (Luginbuhl *et al.*, 2013).

En entorns naturals, existeixen dos problemàtiques a analitzar: La llum intrusa directa és aquella que prové directament de les fonts de llum i incideix sobre l'entorn natural; la llum intrusa indirecta, és quan la contaminació lumínica del cel és tan gran, que genera la lluminositat suficient com per ser una font de llum en si mateixa, i per tant, reflecteix la llum de les ciutats en l'atmosfera i il·lumina tot els ecosistemes.

La llum intrusa directa, té un abast normalment no superior a 500 metres, o en instal·lacions ben dimensionades, inferiors als 5-10 metres. La seva avaluació es fa mitjançant programes de càlcul lumínic (DIAL 2015; PhilipsLighting, 2015; Relux, 2015), i estan, sota control reglamentari als països on hi ha normativa sobre la problemàtica (GENCAT, 2001; GENCAT, 2015).

Existeixen metodologies per avaluar la contaminació lumínica als entorns naturals.

Per a poder avaluar la denominada llum intrusa indirecta, la metodologia és més complexa. S'han d'aplicar els mètodes desenvolupats pels observatoris astronòmics, s'ha tenir en consideració l'efecte augmentatiu dels núvols (Kocifaj, 2007; Kyba *et al.*, 2011; Kocifaj i Solano, 2014b; Aubé

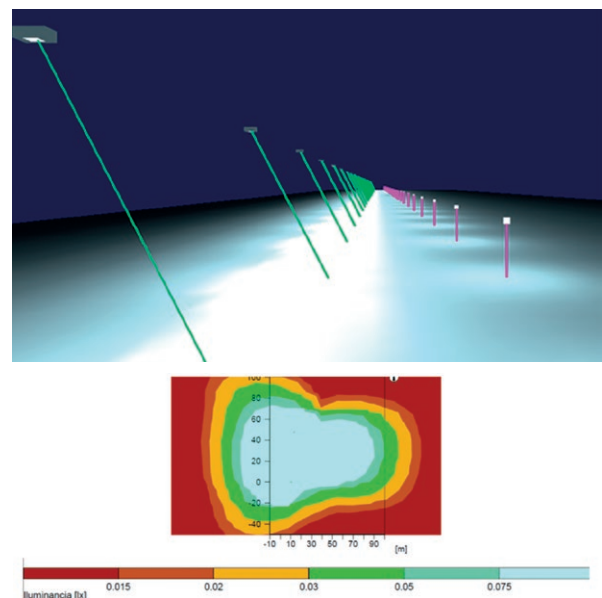


Figura 10. Exemple de simulació d'un carrer proper a una zona de nidificació al Delta de l'Ebre. (Gómez Fernández, 2015)

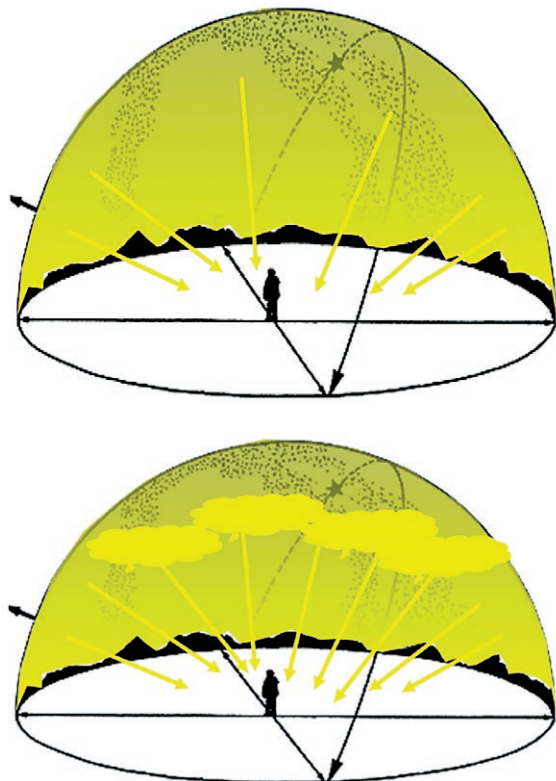


Figura 11. Caracterització de la funció de la contaminació lumínica del cel com a un focus contaminant (Garcia Gil, 2015).

et al., 2016) i s'ha de poder determinar l'efecte del cel com a focus emissor de llum (Kocifaj i Solano, 2014a).

A partir d'aquests números es pot tenir en compte l'efecte de la llum sobre els ecosistemes naturals. A manera d'il·lustració a la figura 12, es pot veure per diferents tipologies d'instal·lacions d'il·luminació, l'aportació de la llum intrusa indirecta en un ecosistema determinat, amb la influència de nuvolositat intensa. Els tres casos de més potència, correspondrien a municipis tipus d'uns 120.000 habitants, 130.000 habitants i 3.000 habitants respectivament, i les seves instal·lacions d'enllumenat de carrers. Les corbes indiquen la llum intrusa indirecta (en l'eix vertical), a una distància determinada (a l'eix horitzontal) i per cadascuna de les cinc potències instal·lades.

De la figura 12 es pot extreure que, per ecosistemes nocturns, hi ha una aportació de llum intrusa indirecta a més de 4 km pels dos municipis més grans, que pot superar el valor equivalent al de quart creixent de la Lluna (0,1 lx).

En el cas d'ecosistemes nocturns més sensibles que necessitessin una foscor per sota dels 0,03 lx, l'afectació del municipi més gran, podria arribar fins a 20 km.

Així doncs, es pot determinar que una brillantor de cel molt elevada (com a les zones metropolitanes, o zones urbanes importants), no tenen una

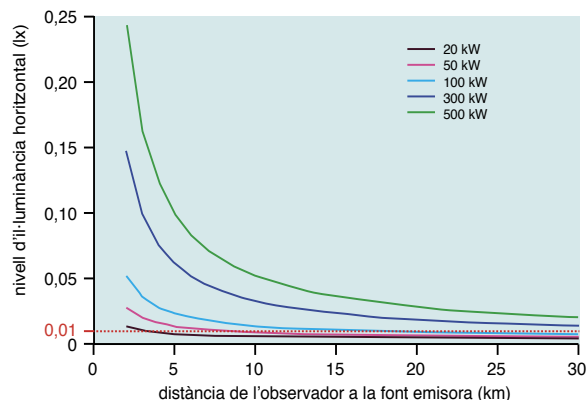


Figura 12. Variació de l'efecte de la llum intrusa directa en situació de nuvolositat intensa, per a diferents mides d'instal·lacions d'enllumenat (segons Garcia Gil, 2015).

repercussió només en l'observació del cel, si no que també tenen efectes sobre els ecosistemes nocturns més sensibles. Per tant, l'abast de la contaminació lumínica en aquests casos, també pot arribar a ser de desenes de kilòmetres, igual que succeeix per a l'observació astronòmica.

Conclusions

La contaminació lumínica és aquella repercussió ambiental, que prové exclusivament de la llum, i canvia les condicions naturals nocturnes d'hàbitats foscos durant la nit. Les repercussions són conegudes per a les observacions astronòmiques, recentment a la salut humana, i de forma general, als ecosistemes nocturns.

En l'actualitat fins i tot s'ha transformat en una problemàtica filosòfica, ja que el ser humà s'interrelaciona amb la nit i el dia (Gallan, 2014).

Els ecosistemes nocturns són especialment sensibles a les variacions de condicions nocturnes. El nivell lumínic d'una nit pura i sense lluna, té uns valors d'uns 0,0002 lux. De forma que pels entorns més sensibles, una petita variació sobre les condicions naturals de foscor, té efectes molt importants. Valors de llum intrusa superiors als 0,1 lx o en nivells més elevats 0,3 lx en entorns menys sensibles, suposen una afectació d'importància. I aquests llindars, es poden succeir no només per la influència directa de l'enllumenat, sinó també per la brillantor del cel quan aquest està contaminat lumínicament. Així doncs, l'abast de la contaminació lumínica pot ser superior a 30 kilòmetres en el cas de ciutats o grans municipis, i es pot convertir en un element que fragmenta hàbitats i disminueix de diversitat natural (Sordelo *et al.*, 2014).

Agraïments

This work was developed within the framework of the Spanish Network for Light Pollution Studies (AYA2015-71542-REDT).

Referències

- Aronsoo, K., Marjomäki, T.J., Tuohino, J., Wnnman, K., Vikström, R., Ojutkangas E. 2015. Migratory behaviour holding habitats of adult river lampreys (*Lampetra fluviatilis*) in two Finnish rivers. *Boreal Environment Research* 20: 120-144.
- Aubé, M., Kocifaj, M. 2012. Using two light-pollution models to investigate artificial sky radiances at Canary Islands observatories. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 422(1): 819-830. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.20664.x
- Aubé, M., Franchomme-Fosse, L., Robert-Staehler, P., Houle, V. 2005. Light pollution modelling detection in a heterogeneous environment: toward a night-time aerosol optical depth retrieval method. *Proceedings SPIE 5890, Atmospheric and Environmental Remote Sensing Data Processing and Utilization: Numerical Atmospheric Prediction and Environmental Monitoring*, 589012 (September 09, 2005). doi: 10.1117/12.615405
- Aubé, M., Kocifaj, M., Zamorano, J., Solano Lamphar, H.A., Sanchez de Miguel, A. 2016. The spectral amplification effect of clouds to the night sky radiance in Madrid. *Journal of Quantitative Spectroscopy Radiative Transfer*, 181: 11-23.
- Beniie, J., Davies, T.W., Duffy J.P., Inger, R., Gaston, K.J. 2014. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*, 4: 3789. doi: 10.1038/srep03789
- Bird, S., Parker, J. 2014. Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. *Journal of Insect Conservation*, 18(4): 7. doi: 10.1007/s10841-014-9664-2
- Brüning, A., F. Hölker, S. Franke, W. Kleiner, W. Kloas 2016. Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm gene expression of gonadotropins in European perch. *Science of the Total Environment*, 543, Part A: 214-222.
- Bruning, A., Holker, F., Franke, S., Preuer, T., Kloas, W. 2015. Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. *Science of the Total Environment*, 511(0): 516-522. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.094
- Buchanan, B.W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. *Animal Behaviour*, 45(5): 893-899. doi: 10.1006/anbe.1993.1109
- Bulyuk, V.N., Bolshakov, C.V., Sinelschikova, A.Y., Vorotkov, M.V. 2014. Does the reaction of nocturnally migrating songbirds to the local light source depend on backlighting of the sky? *Avian Ecology Behavior*, 25: 21-26.
- Carolyn, B. 2015. Steam powered electric arc light being used for harvesting at night. From 1882 French book on electric lighting. Data d'accés 02-feb-2015, <https://twitter.com/kylenano/status/560868633241747458>.
- Cryan, P.M., Gorresen, P.M., Hein, C.D., et al. 2014. Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(42): 15126-15131. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- Dacke, M., Baird, E., Byrne, M., Scholtz, C.H., Warrant E.J. 2013. Dung beetles use the Milky Way for orientation. *Current Biology* 23(4): 298-300. doi: 10.1016/j.cub.2012.12.034
- DARKSKY. 2015. What is Light Pollution. FAQ. Data d'accés 27-jan-2015, <http://www.darksky.org/about-ida/faqs#6>.
- Davies, T.W., Bennie, J., Gaston, K.J. 2012. Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters*, rsbl.2012.0216. doi: 10.1098/rsbl.2012.0216
- DIAL. 2015. Software Dialux. Data d'accés 27-jan-2015, <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/browse/12.html>
- Dolsa, G.M. T. Albarrán 1998. La problemática de la contaminación lumínica en la conservación de la diversidad. *I sesión de trabajo sobre contaminación lumínica*, Barcelona.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C.C.M., Elvidge, C.D., Baugh, K., Portnov, B.A., Rybnikova, N.A., Furgoni R. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6). doi: 10.1126/sciadv.1600377
- Froy, O., Gotter, A.L., Casselman, A.L., Reppert, S.M. 2003. Illuminating the circadian clock in Monarch butterfly migration. *Science*, 300(5623): 1303-1305. doi: 10.1126/science.1084874
- Gallan, B. 2014. *Becoming Crepuscular: rethinking the human relationship to day night*. University of Wollongong.
- García Gil, M. 2012. Método de evaluación del impacto ambiental lumínico para instalaciones de alumbrado exterior. *XXXVIII Simposium Nacional de Alumbrado*, Toledo.
- García Gil, M. 2015. *Predicción del impacto ambiental de la contaminación lumínica: propuesta de una metodología para proyectos luminotécnicos de ingeniería*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- García Gil, M., Estrada García, R. 2014. Avaluació de l'Impacte Ambiental Lumínic (AIAL) de les instal·lacions d'enllumenat artificial nocturn a zones protegides de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. UPC, UPC: 110.
- García Gil, M., González Dorta, N. 2016. Influencia de la luz privada doméstica sobre la fuente de la contaminación lumínica. *ACE: architecture, city environment* 11(31): 93-120.
- García Gil, M., San Martín Paramo, R., Solano Lamphar, H.S. 2012. *Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: El alumbrado artificial*. Barcelona, Iniciativa Digital Politècnica.
- Garstang, R.H. 1991. Light Pollution Modeling. Radio Interference, Space Debris. Washington, *ASP Conference Series*. 17. doi: 10.1017/s0252921100003705
- Gaston, J., Visser, M.E., Hölekr, F. 2015. The biological impacts of artificial light at night: from molecules to communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society-Ser B-Biological Sciences*, 370(1667): 20140133. doi: 10.1098/rstb.2014.0133
- Gaston, K.J., T.W. Davies, J. Bennie J. Hopkins (2012). REVIEW: Reducing the ecological consequences of nighttime light pollution: options developments. *Journal of Applied Ecology*, 49(6): 1256-1266. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x
- GENCAT. 2001. Llei d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn. DOGC, GENCAT.
- GENCAT. 2015. Decret 190/2015 de desenvolupament de la Llei 6/2001 d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn. DOGC, GENCAT.
- Gómez Fernández, M.C. 2015. Diseño del estudio de impacto ambiental de alumbrado público en el parque natural del Delta del Ebro, UPC.
- Grandstein, F., James, O., Smith, A. 2004. *A Geologic Time Scale*. The press syndicate of the University of Cambridge.
- Gwinner, E., Brandstatter, R. 2001. Complex bird clocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society-Ser B-Biological Sciences*, 356: 1801-1810. doi: 10.1098/rstb.2001.0959
- Halliday, A.N. 2001. Earth science: In the beginning. *Natu-*

- re, 409(6817): 144-145.
doi: [10.1038/35051685](https://doi.org/10.1038/35051685)
- Hoffman, P.F., A.J. Kaufman, G.P. Halverson, D.P. Schrag 1998. A Neoproterozoic Snowball Earth. *Science*, 281(5381): 1342-1346.
doi: [10.1126/science.281.5381.1342](https://doi.org/10.1126/science.281.5381.1342)
- Holker, F., C. Wolter, E.K. Perkin, K. Tockner 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(12): 681-682.
doi: [10.1016/j.tree.2010.09.007](https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007)
- Iñigo Fernandez, L.E. 2012. *Breve historia de la Revolución Industrial*.
- Perking, E.K., F. Holker, K. Tockner. 2014. The effects of artificial lighting on adult aquatic terrestrial insects. *Freshwater Biology*, 59: 368-377.
doi: [10.1111/fwb.12270](https://doi.org/10.1111/fwb.12270)
- Kalipedia. 2012. Iluminación de una fábrica. Data d'accés 02-nov-2012,
<http://www.kalipedia.com>
- Kempnaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., Valcu, M. 2010. Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, Lay Date in Songbirds. *Current Biology*, 20(19): 1735-1739.
doi: [10.1016/j.cub.2010.08.028](https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.08.028)
- Kinver, M. 2010. Nueva York apaga las luces para ayudar a aves migratorias. Data d'accés 23-03-2015,
http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2010/09/100902_nueva_york_luces_migracion_aves_jrg.shtml.
- Kocifaj, M. 2007. Light-pollution model for cloudy cloudless night skies with ground-based light sources. *Applied Optics*, 46(15): 3013-3022.
doi: [10.1364/AO.46.003013](https://doi.org/10.1364/AO.46.003013)
- Kocifaj, M., Solano, H. 2014a. On the relation between zenith sky brightness horizontal illuminance. *Monthly notices of Royal Astronomical Society*: 8.
- Kocifaj, M., Solano, H. 2014b. Quantitative analysis of night skyglow amplification under cloudy conditions. *Journal of Astronomical Society*, 443: 12.
doi: [10.1093/mnras/stu1301](https://doi.org/10.1093/mnras/stu1301)
- Kyba, C.C.M., Ruhtz, T., Fischer, J., Hölker, F. 2011. Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE*, 6(3): e17307.
doi: [10.1371/journal.pone.0017307](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017307)
- Lacoeuilhe, A., Machon N., Julien J.F., Le Bocq A., Kerbiriou C. 2014. The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. *PLoS ONE*, 9(10): e103042.
doi: [10.1371/journal.pone.0103042](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103042)
- Luginbuhl, C.B., Boley P.A., Davis D.R. 2013. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy Radiative Transfer*, 139(0): 21-26.
- Macgregor, C.J., Evans, D.M., Fox, R., Pocock, M.J. 2016. The dark side of street lighting: impacts on moths evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*.
doi: [10.1111/gcb.13371](https://doi.org/10.1111/gcb.13371)
- Minnaar, C., Boyles, J.G., Minnaar, I.A., Sole, C.L., McKechnie, A.E. 2015. Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator-prey arms race. *Journal of Applied Ecology*, 52(2): 522-531.
- Montevecchi, W.A. 2006. Influences of artificial light on marine birds. In: Longcore, T., Rich, C. (eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, pp. 94-113. Washington D.C., IslPress.
- Narisada, K., Schreuder D. 2004. *Light pollution handbook*. Springer.
doi: [10.1007/978-1-4020-2666-9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2666-9)
- News, B. 2015. New York state to dim lights to save migrating birds. Data d'accés 30-abr-2015,
<http://www.bbc.com/news/world-us-canada-32491715>.
- Perkin, E.K., Hölker, F., Richardson, J.S., Sadler, J.P., Wolter, C., Tockner, K. 2011. The influence of artificial light on stream riparian ecosystems: questions, challenges, perspectives. *Ecosphere*, 2(11): art122.
doi: [10.1890/ES11-00241.1](https://doi.org/10.1890/ES11-00241.1)
- PhilipsLighting. 2015. Catálogos y descargas. Data d'accés 27-jan-2015,
http://www.lighting.philips.es/connect/tools_literature/.
- Poiani, S., Dietrich, C., Barroso, A., Costa-Leonardo, A. 2015. Effects of residential energy-saving lamps on the attraction of nocturnal insects. *Lighting Research Technology*, 47(3): 338-348.
doi: [10.1177/1477153514526880](https://doi.org/10.1177/1477153514526880)
- Relux. 2015. Relux light simulation tools. Data d'accés 27-jan-2015,
<http://www.relux.biz/index.php?lang=es>.
- Rich, C., Longcore, T. 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, DC, IslPress.
- Sánchez de Miguel, A., Zamorano, J., Gómez Castaño, J., Pascual, S. 2014. Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. *Journal of Quantitative Spectroscopy Radiative Transfer*, 139(0): 109-117.
doi: [10.1016/j.jqsrt.2013.11.017](https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.11.017)
- Santos, C., Miranda, A.C., Granaderiro, J., Lourenço, P., Saraiva, J., Palmerim, J. 2010. Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica*, 26(2): 166-173.
doi: [10.1016/j.actao.2009.11.008](https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.11.008)
- Sordelo, R., Sylvie, V., Zam, C., Le Tallec, T. 2014. *Effet fragmentant de la lumière artificielle*. Museum national d'Historie natural, Centre de ressources Trame verte et bleue: 31.
- Thomas, J.R., James, J., Newman, R.C., Riley, W.D., Griffiths, S.W., Cable, J. 2016. The impact of streetlights on an aquatic invasive species: Artificial light at night alters signal crayfish behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 176: 143-149.
doi: [10.1016/j.applanim.2015.11.020](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.020)
- Thums, M., Whiting, S.D., Reisser, J., Pendoley, K.L., Pattiaratchi, C.B., Proietti, M., Hetzel, Y., Fisher, R., Meehan, M.G. 2016. Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit. *Royal Society Open Science*, 3(5).
doi: [10.1098/rsos.160142](https://doi.org/10.1098/rsos.160142)
- Tuhárska, M., Krnáčová, D., Škvareninová, J., Hribík, M. 2014. Intensity of light pollution its impact on phenological phases of trees. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.), *Mendel a bioklimatologie*, 9 pp.
- Wikipedia. 2015. Wikipedia. The Free Encyclopedia. Data d'accés jan-2015,
<http://www.wikipedia.org>