

## Sumari

|  |           |
|--|-----------|
| <b>A. INTRODUCCIÓ A L'ESTUDI DE LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA</b>   | <b>2</b>  |
| A.1. Campanyes de sensibilització i estudi d'afectacions de la contaminació lumínica .....                 | 2         |
| A.2. Antecedents a la formulació de models matemàtics per la modelització de la Contaminació Lumínica..... | 6         |
| <b>B. ESTADÍSTIQUES</b>  | <b>15</b> |
| B.1. Introducció .....   | 15        |
| B.2. Dades inicials .....  | 15        |
| B.2.1. Estadístiques descriptives.....   | 15        |
| B.2.2. Relació amb de les variables entre elles i amb la variable resposta .....                           | 21        |
| B.3. Determinació del model.....   | 29        |
| B.3.1. Proves d'hipòtesi del model .....   | 31        |
| B.3.2. Procés de validació creuada.....  | 35        |
| B.4. Estadístiques descriptives del cas d'aplicació pràctic.....   | 51        |
| <b>C. BIBLIOGRAFIA</b>   | <b>52</b> |

## **A. Introducció a l'estudi de la Contaminació Lumínica**

### **A.1. Campanyes de sensibilització i estudi d'afectacions de la contaminació lumínica**

L'any 1988 es va originar la campanya "For a dark Sky" per astrònoms afectats per la contaminació lumínica, aquests, es van dedicar a promoure un plantejament sostenibilista de les instal·lacions d'enllumenat. Fruit d'aquella campanya, es va iniciar una associació, anomenada "International Dark-Sky Association" que des d'aleshores ha vetllat per donar a conèixer i documentar l'afectació de l'excés de llum nocturna i sobre l'hàbitat natural i els éssers vius. Fruit d'aquesta mateixa iniciativa, de forma molt posterior, es van començar a documentar els diversos llocs amb un cel fosc ("dark-sky en anglès) que van iniciar-se amb la creació de reserves, parcs i comunitats arreu del món. [1]

Si bé es cert que l'estudi de la contaminació lumínica per part de la tècnica s'havia iniciat amb anterioritat (Veure A.2). Des d'aquell moment, s'han desenvolupat nombroses publicacions i campanyes per tal de definir i quantificar els efectes de la contaminació lumínica sobre els éssers vius.

L'any 1998, es va publicar l'article "La problemàtica de la contaminación lumínica en la conservación de la biodiversidad" d'Alfons G. Dolsa y M<sup>a</sup> Teresa Albarrán [2]. Al mateix, es fa explícit com l'enllumenat artificial està afectant a molts animals de Catalunya, com insectes, aus i lepidòpters. En aquest, s'inicia l'estudi de l'espectre electromagnètic de la il·luminació que més incideix sobre els animals. Des de llavors, nombrosos estudis han indicat l'afectació de la contaminació lluminosa sobre els animals i en especial els d'activitat nocturna, a continuació es fa una breu exposició de cada un.

Un estudi d'aquell mateix any (1998) de Pascal Raavel y Florent Lamiot [3] fa un compendi sobre l'afectació de la il·luminació artificial nocturna a diverses espècies de l'àmbit geogràfic francès, aquest es centra en els efectes sobre amfibis, anguiles, peixos i ocells.

L'any 2000, Marianne V Moore amb diversos col·laboradors van realitzar una investigació per demostrar que la contaminació lumínica urbana altera la migració vertical del Dàfnia [4]. Van demostrar que la contaminació lluminosa no només afecta a la pujada del zooplàncton, sinó que també disminueix l'amplitud de migració si els nivells son suficientment alts per la nit. Per exemple, la llum de lluna plena redueix l'amplitud del dàfnia. Es van provar les hipòtesis de que la contaminació lumínica associada a les àrees urbanes redueix l'amplitud i la magnitud de migració del zooplàncton.



Figura A.1. Imatge del Daphnia Zooplankton [5].

Del 22 al 24 de Setembre de 2003, es va portar a terme el Simposi "Ecology of the Night" a Dorset, Ontario [6]. Al mateix, es va determinar la necessitat de prendre les mesures que fossin necessàries per preservar el medi nocturn natural, a més, també es va parlar sobre l'interès de diversos biòlegs al voltant de l'estudi de la relació de la contaminació lluminosa sobre la biodiversitat ja que hi percebien un greu desequilibri.

L'estudi de la contaminació lluminosa no va parar de créixer des d'aquell moment. Com a referència es poden citar diversos estudis del 2004:

- Brittany bird, Lyn branch, y Deborah Millar van estudiar els efectes de l'enllumenat costaner en el comportament del pelatge dels ratolins de platja [10]. Es van focalitzar a observar l'efecte que podien causar les làmpades de vapor de sodi a baixa pressió, degut a que en alguns països, s'usen d'aquest tipus per impedir l'afectació de l'enllumenat sobre tortugues i insectes. Els resultats van demostrar que l'enllumenat artificial afecta a les espècies d'àries costaneres i que la pol·lució per llum havia de ser considerada de cara a la planificació de la conservació dels medis naturals. També hi ha un article de temàtica similar del 2006 [10].
- Un article de Catherin Rich i Travis Longcore; anomenat "Ecological Light Pollution" [8] en el que es debatia, de forma general, el problema de no controlar l'enllumenat artificial. En aquesta, van intentar demostrar l'efecte de l'enllumenat artificial sobre el comportament masculí de les granotes verdes. Els resultats van provar clarament que el comportament d'aquest tipus de granota es veu afectat per la presència de la llum artificial, el que produeix un elevat potencial de reducció de la xifra de natalitat de l'espècie i afectar així les dinàmiques de població.

Aquests mateixos autors, van publicar en 2006 un llibre que recopilava investigacions al voltant de conseqüències sobre el medi ambient de la il·luminació artificial nocturna [9]. Diversos investigadors destacats van publicar les seves investigacions en el mateix, es poden citar:

- Els estudis de Paul Beier sobre els efectes de la llum artificial sobre els mamífers terrestres, expliquen que els que presenten costums nocturnes es veuen greument

afectats per l'excés de llum i exposa diversos punts de vista anatòmics, sociològics i de comportament davant aquest tipus de situacions.

- Jens Rydell realitza una feina per demostrar com els rat-penats han de modificar els seus hàbits per tal de poder trobar els insectes que els serveixen d'aliment, aprofitant l'atracció que produeixen les instal·lacions d'enllumenat artificial sobre els insectes per tal de caçar-los i obtenir els seus aliments.
- Sidney A. Gauthreaux Jr. Y Carroll G. Belser van investigar sobre els efectes de la llum artificial sobre la migració d'aus. Indiquen que tenen certs mecanismes que fan que es sentin atretes per la llum artificial, determina quin tipus de fonts lluminoses presenten més afectació i com influeix el resplendor de l'esfera celeste a la desorientació que pateixen al migrar.
- William A. Montevecchi investiga les influències de l'enllumenat artificial sobre els ocells marins, que de forma similar que amb els rat-penats, focalitza les seves activitats de caça a les fonts de llum marines. També proposa mesures per a minimitzar els efectes de la llum artificial sobre aus marines.
- Johannes G. de Molenaar, Maria E. Sanders y Dick A. Jonkers van tractar la influència de l'enllumenat de carreteres sobre les aus, modificant la seva fisiologia i comportament espacial. Així com expliquen que representa una greu influència amb els bioritmes de les aus.
- Michel Salmon dona un seguit de recomanacions per protegir les tortugues marines de l'enllumenat artificial a les platges de Florida.
- Gad Perry y Robert N. Fisher exposen de forma conjunta per exposar els efectes potencials que s'observen al estudiar la relació entre les llums de la nit i els rèptils. En el mateix sentit, Bryant W. Buchanan documenta els efectes potencials de l'enllumenat artificial nocturn a amfibis com granotes i gripaus. Shanon E. Wise y Bryant W. Buchanan van investigar els efectes sobre el comportament nocturn i fisiologia de les Salamandres. Revelen que l'enllumenat artificial ha causat un greu desequilibri en el procedir i els hàbits d'aquests amfibis.
- Barbara Nithingale, Travis Longcore y Charles A. Simenstad determinen la relació de l'enllumenat artificial nocturn i els peixos. Parlen sobre la fisiologia d'aquests organismes marins, dels mecanismes que fan que responguin davant l'enllumenat i com representa una greu influència en el seu medi ambient natural.
- Gerhard Eisenbeis investiga la relació entre l'enllumenat artificial i els insectes. L'estudi es focalitza sobretot en una població rural d'Alemanya, on una gran diversitat d'insectes es veuen atrets per les llumeneres exteriors.
- James E. Lloyd investiga la influència de la llum artificial sobre les cuques de llum i exposa que pot suposar un greu problema d'orientació i desequilibri en el seu medi ambient natural.

- Winslow R. Briggs realitza un estudi de la fisiologia de les plantes i com es veuen afectades per l'enllumenat artificial. Descriu que els fotoreceptors que reaccionen davant la llum es veuen afectats per l'excessiva il·luminació artificial generant un desequilibri entre les seves característiques naturals.

L'any 2007 Vickielly M. Laboy va realitzar una dissertació per explicar el problema de la contaminació lumínica a Puerto Rico, va emfatitzar el problema que representa per a la biodiversitat afectada [11].

Des d'aquell mateix any, hi ha també una altra iniciativa que vetlla per preservar el cel nocturn, aquesta és la "Starlight Foundation" creada per L'Institut Astrofísico de Canàries (IAC) amb recolzament de la UNESCO, UNTWO, IAU i altres convencions internacionals com poden ser la Ramsar. Aquesta iniciativa promou la importància dels cels descontaminats per la humanitat, emfatitzant el seu valor per al desenvolupament de la ciència, educació, cultura, desenvolupament tecnològic, conservació natural i turisme.



Així doncs, si a partir de 2006 la IDA ja recollia i documentava els cels foscos, a partir de 2007, la iniciativa Starlight també va començar amb la creació de reserves de la contaminació lumínica [13]. La creació de reserves naturals i el seu interès de cara a un turisme rural que revitalitzi àrees determinades resulta molt positiva si està ben aplicada. A més, cal considerar que el fet que hi hagi entorns no contaminats lluminosament, permet l'establir un entorn d'observació astronòmic amb possibilitat de comparar i avaluar amb altres entorns.

Per últim, hi ha un llibre divulgatiu que proposa un apropament al problema de la contaminació lumínica des del focus contaminant de l'any 2010 [15] que apropa al lector a la problemàtica de la contaminació lumínica.

Tot i els grans esforços fets per part de la ciència i parts de la societat en quant a la quantificació i anàlisi dels efectes de la contaminació lumínica, és rellevant posar en falta l'aplicació de tota aquesta ciència a l'hora de desenvolupar projectes luminotècnics. Així doncs, amb l'afectació del fenomen i la intensitat amb la que s'aplica en alguns entorns fa que l'impacte que té la contaminació lumínica sobre el medi ambient sigui significativa. Per tant, cal pensar en la formació i la conscienciació com a eina per tal de que totes les persones implicades en els projectes d'enllumenat tinguin una visió integral de les instal·lacions d'enllumenat.

## A.2. Antecedents a la formulació de models matemàtics per la modelització de la Contaminació Lumínica

L'inici de l'estudi de la Contaminació lumínica per part de la ciència o la tècnica daten d'inicis del segle 20, si bé es cert que aquest fenomen va començar a fer-se exagerat i analitzar-se amb més profunditat a partir dels anys 70. Un dels primers estudis que estava enfocat a l'anàlisi de les variacions de luminància que s'experimentava al cel nocturn va ser realitzat pels investigadors Elvey i Roach l'any 1937. En aquest mateix estudi es va emprar un fotòmetre elèctric i es van obtenir mesures a diferents hores de la nit i en diferents períodes de l'any.

Les metodologies o models amb objectiu de quantificar la contaminació lumínica es van desenvolupar gairebé mig segle després. A continuació, es fa una breu ressenya de diversos models amb l'objectiu de mostrar l'estat de l'art i les seves perspectives[14]:

### Model de Walker

El primer model matemàtic que donava una indicació sobre la quantitat de contaminació lumínica d'un entorn il·luminat el va fer Walker l'any 1970 [16]. Aquest determinava un índex de contaminació lumínica a partir de la població de les ciutats i la distància entre la mateixa i l'observador. Amb aquest índex, aplicat de forma posterior a la pràctica l'any 1977 es volia traçar unes directrius generals a l'hora de trobar els llocs més adequats per les observacions astronòmiques.

La fórmula que va obtenir es mostra a continuació amb una explicació dels seus paràmetres:

$$I = C \cdot P \cdot d^{-2,5}$$

On:

- **I:** és l'índex de contaminació lumínica.
- **C:** és una constant d'estimació del flux lumínic per càpita d'una població.
- **P:** és el nombre d'habitants (Població) del municipi d'estudi.
- **D:** és la distància lineal de la població al punt d'estudi. És interessant observar que l'exponent de la distància és 2,5 i no 2 tal com es podria considerar segons la llei inversa dels quadrats de la distància. Es podria assumir que l'absorció de la llum per part de l'atmosfera representa un paper en aquest cas.

Els avantatges d'aquest model són que és fàcil d'usar i representa una bona aproximació amb unes fortes bases empíriques [25]. Un dels inconvenients és que no totes les ciutats presenten el mateix flux lumínic per població a més de que no té en compte la dispersió i extinció de les partícules en suspensió.

### Model de Treanor

Uns anys després, el 1973, Treanor es va basar en la fórmula de Walker i la va millorar introduint factors que corresponien a la dispersió de la llum per les partícules en suspensió [17]. És interessant constatar que aquest model va ser emprat l'any 1974 per calcular la contaminació lumínica a diferents regions d'Itàlia. La fórmula que va determinar es pot observar a continuació:

$$P = \frac{L(r)}{L(N)} = \left( \frac{A}{r} + \frac{B}{r^2} \right) \cdot e^{-\frac{k}{r}}$$

On:

- **p**: és la població
- **r**: la distància del observador
- **A**:  $1,8 \cdot 10^{-5} \cdot p$
- **B**:  $13,6 \cdot 10^{-5} \cdot p$
- **k**: 0.026 (coeficient d'extinció dels aerosols)

Aquest model presenta l'avantatge de presentar una aproximació de l'extinció atmosfèrica i considera les poblacions com una font principal de llum [25]. Tot i això, continua presentant la relació de flux lumínic per població, no té en compte unes altres partícules en suspensió i el seu abast està restringit a les poblacions italianes.

### Model de Berry

L'any 1976, i en base al model de Treanor (1973), Berry va fer unes modificacions per determinar la contaminació produïda per la brillantor del Zenit de la llum provinent de petites ciutats [17]. Aquest model va ser aplicat a diferents regions de Canadà on es va obtenir, a partir de:

- Dades visuals i fotoelèctriques.
- La brillantor del cel (en relació als habitants de les ciutats).
- Una funció de distància pel mitjà de condicions atmosfèriques.

Un model matemàtic prou senzill per determinar els nivells de contaminació lumínica a Ontàrio. A continuació es pot observar el model obtingut:

$$I = a \cdot \sqrt{P} \cdot (b \cdot D^{-2} + c \cdot D^{-1}) \cdot e^{-k \cdot D}$$

On:

- **I** és la brillantor del cel.
- **P** és la població del municipi d'estudi
- $D=(d^2+h^2)^{-0,5}$  és un terme que té en consideració la distància del municipi i la alçada de la capa de dispersió.
- **A** és una constant relacionada amb el nombre de població dels focus contaminants.
- **B** i **c** són termes constants.
- **K** és el coeficient d'extinció dels aerosols.

Aquest model, també té en compte l'extinció atmosfèrica de la llum i considera les ciutats com a font puntual de llum [25]. Tot i això, segueix considerant una mitja de flux lumínic per població sense formular altres partícules en suspensió i té un abast restringit a Ontàrio per a la proposició de constants, per tant, es podria considerar una nova aplicació del model de Treanor.

### **Model de Pike**

En el Juny del mateix any, Pike va desenvolupar un model de propagació i dispersió de la llum a l'atmosfera [19]. Aquest model es va emprar dins l'àmbit geogràfic d'Ontàrio i és similar al de Berry amb la diferència de que es va aplicar i computar els resultats.

Una de les novetats del model de Pike és que emprava un tractament computacional de les dades i permetia la capacitat de realitzar plànols lumínics. L'objectiu principal del model era projectar el futur creixement de la contaminació lumínica a Ontàrio. La fórmula del model és la mateixa que per al model de Berry aplicant com a constants (b i c) uns paràmetres empírics.

Els avantatges amb els que compta aquest model és el fet de tenir en compte l'extinció a l'atmosfera i la capacitat per obtenir plànols de contaminació lluminosa a més dels que s'han expressat amb el model de Berry. Entre les seves desavantatges, la determinació del flux lumínic emès per una població a partir dels seus habitants i que està restringit a Ontàrio.

### **Model de Garstang**

L'any 1984, Garstang va presentar un model per la quantificació de la contaminació lumínica que representava la brillantor del cel de la nit basant-se en la luminància del cel nocturn [20]. Aquest, es va recolzar en el model de Walker per la validació dels resultats i està creat amb la finalitat de determinar la localització òptima d'observatoris astronòmics.

Dos anys després, l'any 1986, es va donar a conèixer un model millorat amb unes característiques que el feien millor que els seus antecessors encara que seguia estimant el flux lumínic emès en base a la població basat en estimacions empíriques.

Garstang va realitzar una modelització de la ciutat com un disc uniforme (font puntual), emprava una escala d'atmosfera tenint en compte els aerosols i molècules, agrega un paràmetre que quantifica el nombre d'aerosols. Així, el seu model permet una modelització angular de la distribució de la llum i considera la distribució lambertiana per als reflexes i el flux lumínic sortint dels focus contaminants.



Com a avantatge d'aquest model està la inclusió de la curvatura de la terra dins del model que afecta a llargues distàncies, un cop dit això, cal dir que no té en consideració l'orografia del terreny que també és influent. A més, al igual que el model de partida (Walker 1970) estandarditza les ciutats i dona un tracte empíric a l'atmosfera.

### **Model de Cinzano**

Cinzano, Falchi i Elvidge van presentar l'any 2001 el primer atlas de la brillantor artificial nocturna [23]. D'acord amb dades de satèl·lits d'alta resolució DMSP i un model exacte de la propagació de la llum en l'atmosfera, van mostrar de manera visual la forma amb la que l'ésser humà es troba envoltat de contaminació lumínica.

Un any després (2002) Cinzano va presentar una forma de modelat de la contaminació lumínica provinent de la il·luminació de carreteres. El va portar a terme analitzant, amb un model simple, la dispersió de la luminància artificial del cel produïda per la contaminació lluminosa provinent de les instal·lacions de carreteres.

Més recentment (2007) Cinzano, Falchi i Elvidge han presentat avenços pel que serà el segon atlas de la contaminació lluminosa [24] basat també en imatges per satèl·lit. Els models d'aquests tres autors, representen un gran avantatge des del punt de vista visual, donat que s'està observant l'efecte dels punts de llum del voltant.

Com a desavantatge es pot esmentar que no presenta evolució de la contaminació lumínica en el temps, amb la incapacitat per predir situacions futures o canvis. Per altre banda, es va realitzar amb imatges de satèl·lit nocturnes, quelcom que no està a l'abast de tothom. Per últim, cal dir que l'observació de la terra des de l'espai capgirarà l'òptica dels estudis anteriors i dificulta el fet de posicionar l'observador mirant al cel (que és la situació amb la que percebem aquest tipus de contaminació).

### **Modelat amb observació de les estrelles.**

El primer símptoma de la gravetat de la contaminació lumínica és quan els astrònoms es van adonar que deixaven de veure les estrelles, per tant, es pot considerar que a major contaminació lluminosa menys estrelles es poden observar.

Amb aquest principi, l'any 1998 es va realitzar un estudi a Tokio, Japó, on Isobe i Kosai [22] van determinar, a través d'observacions fotogràfiques un mètode empíric que es mostra a continuació:

$$m_2 = \frac{1}{0,4} \cdot \log \left( \frac{10^{\frac{D_1}{a}}}{10^{\frac{D_2}{a}}} - 1 \right) + m_1 + 16,3$$

On:

- $m_2$  és la brillantor del cel nocturn en Magnituds d'Arcsegon al quadrat.

- M1 és la magnitud de l'estrella de referència.
- D1 i D2 són mesures de densitat.

En aquesta direcció, l'any 2003 estudiants de ciències de Tucson van realitzar un projecte per tal de modelar la contaminació lumínica a través del recompte d'estrelles. Aquests van analitzar la visibilitat de diverses constel·lacions fàcilment observables i les van analitzar en diferents circumstàncies trobant una relació entre la contaminació lumínica i la visibilitat de les constel·lacions [Walker et al, 2003].

La metodologia del recompte d'estrelles és una bona aproximació al problema però té l'inconvenient de que a no ser que el recompte estigui assistit per ordinador, és empíric. Això fa que pugui donar lloc a interpretacions a més que cal que l'observador conegui les magnituds de referència de les estrelles.

### **Model d'Aubé**

L'any 2005 es va desenvolupar un model anomenat ILLUMINA que tenia en compte no només els models emprats per Garstang als 80 sinó també les variacions en la topografia i la reflectància de la llum [26].

La primera generació de models presenten algunes característiques que fan que les dades no siguin totalment fiables. Per exemple, la majoria d'ells representa la ciutat com un cercle perfecte de lluminositat constant i reflectància. El model desenvolupat per Aubé considera l'orografia generant la necessitat de realitzar mesures dels aerosols en suspensió en el moment de mesurar [25]. Aquest model es pot veure amb més profunditat a [27] i donada la seva complexitat, no s'ha mostrat la seva formulació matemàtica.

El model d'Aubé presenta una aproximació bastant bona, potser és el model més exacte de l'actualitat determinant els aerosols i la contaminació lumínica en temps i espai. Els seus desavantatges principals són la seva complexitat a més de la necessitat d'emprar un espectrofotòmetre de preu elevat per fer comparacions amb les dades i determinar la quantitat exacta d'aerosols. A més, es requereixen coneixements especialitzats per a utilitzar els instruments de mesures i els càlculs per ordinador poden tardar dies sencers.

### **Modelat de la contaminació lumínica emprant Sistemes d'Informació Geogràfica.**

L'any 2007, amb l'evolució del software GIS Chalkias i Kalogirou van realitzar un model que tenia en compte dades morfològiques del terreny així com imatges preses des de satèl·lit [29]. Aquest estudi estava emplaçat dins l'àmbit geogràfic de les ciutats suburbanes d'Atenes.

Tavoosi et al l'any 2009 també van emprar el modelat de dades amb Sistemes d'Informació Geogràfica per a analitzar el fenomen de la contaminació lumínica. El seu model es va aplicar a Teheran i els seus voltants on es podia apreciar el creixement de la contaminació lumínica en un lapse d'11 anys i un mapa de la situació actual.

La metodologia SIG suposa un gran avanç en la modelització de la contaminació lumínica ja que permet incorporar l'orografia del terreny als càlculs a través de Models Digitals del Terreny. Com a desavantatge es pot considerar la dificultat per a realitzar models predictius.

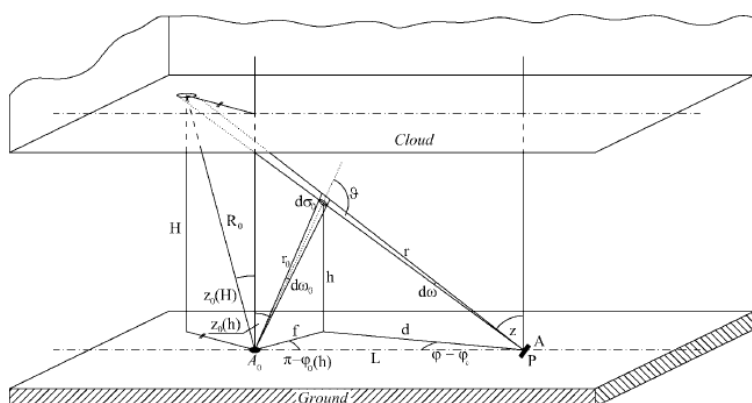
### Model de Kocifaj

Aquest model desenvolupat l'any 2007 té en compte un altre factor de notable importància, el clima en el moment de la mesura [29]. El model permet aproximar el grau de contaminació lumínica no només amb núvols sinó també en condicions d'atmosfera descoberta. Kocifaj també emprava una aproximació per la identificació de les molècules i aerosols en suspensió a l'ambient d'estudi i la extinció i dispersió a la que està sotmesa la llum des de la ciutat fins l'observador. Així mateix, realitza un tractament geomètric per tal d'integrar de forma apropiada l'alçada, prenent com a referència les coordenades polars per la ciutat. La fórmula per al model es pot observar a continuació:

$$I = IT \cdot RN \cdot T \cdot D + \int_0^H (IG \cdot T \cdot D \cdot h^{-2}) dh$$

On:

- IT és el flux lumínic emès per la ciutat
- RN és el coeficient de reflexió de la ciutat
- T és la constant de transmissió atmosfèrica
- D és la constant de dispersió atmosfèrica
- IG és el comportament del flux lluminós tenint en compte el model de Garstang
- H és l'alçada del núvol o capa efectiva de l'atmosfera.



EL principal avantatge del model de Kocifaj és el tenir en compte les condicions climatològiques fet que el fa un dels models matemàtics més complerts. També cal senyalar que no té en compte determinades condicions climatològiques i no ha sigut provat de forma pràctica, només a través de simulacions.

**Treballs realitzats per Héctor Solano**

Per últim, és important mencionar les tasques d'investigació realitzades per Héctor Solano d'on s'ha extret part de la informació bibliogràfica. A més de la documentació aportada [14], és molt interessant la seva proposta de model per presentar un càlcul relativament senzill. El model aportat pel doctorat es basa en una estimació del flux sortint de les instal·lacions d'enllumenat d'un municipi com a focus puntual i a continuació, s'apliquen unes correccions als valors obtinguts per tal de augmentar la precisió dels valors obtinguts. Algunes de les correccions que aplica són:

- Correcció per la curvatura de la terra.
- Anàlisi i correcció dels coeficients de transmissió atmosfèrica.
- Correcció pels obstacles orogràfics.
- Correcció per a condicions climatològiques adverses.



## B. Estadístiques

### B.1. Introducció

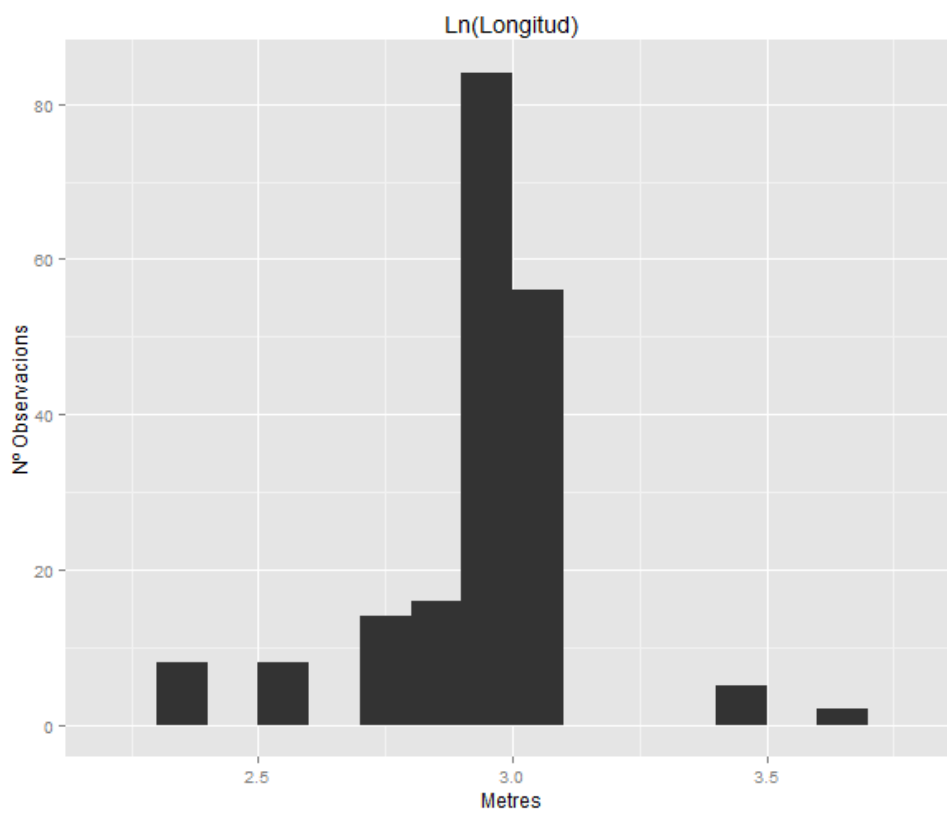
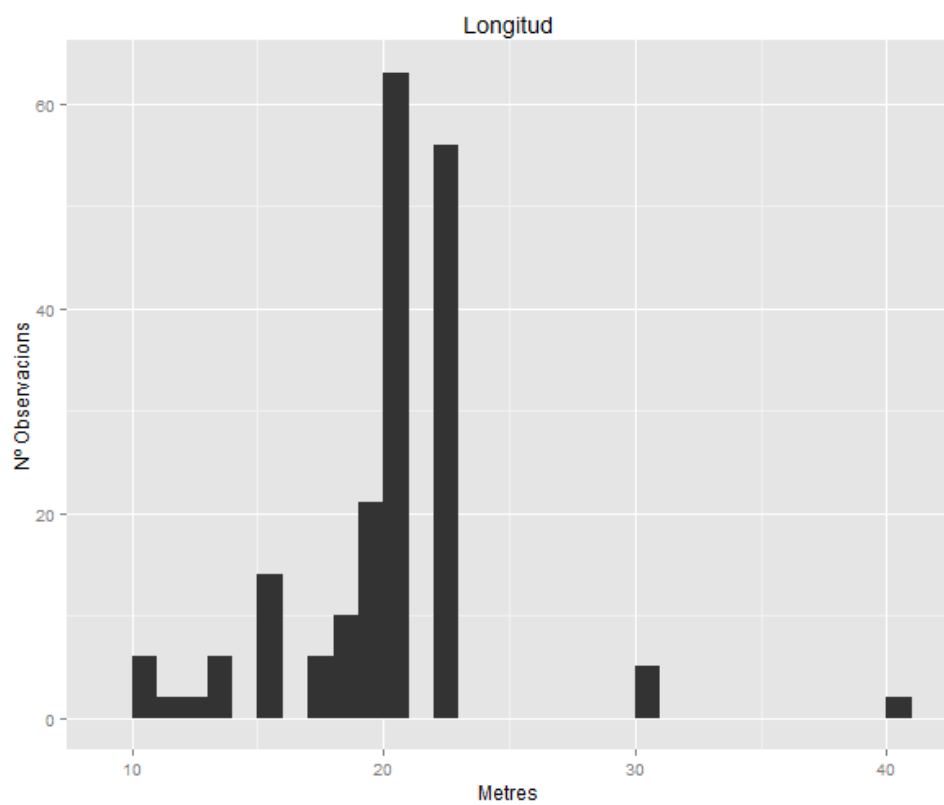
A continuació s'adjunta un recull de la informació estadística més rellevant generada durant el projecte i que ens molts casos ajuda a comprendre la profunditat i complexitat del fenomen estudiat.

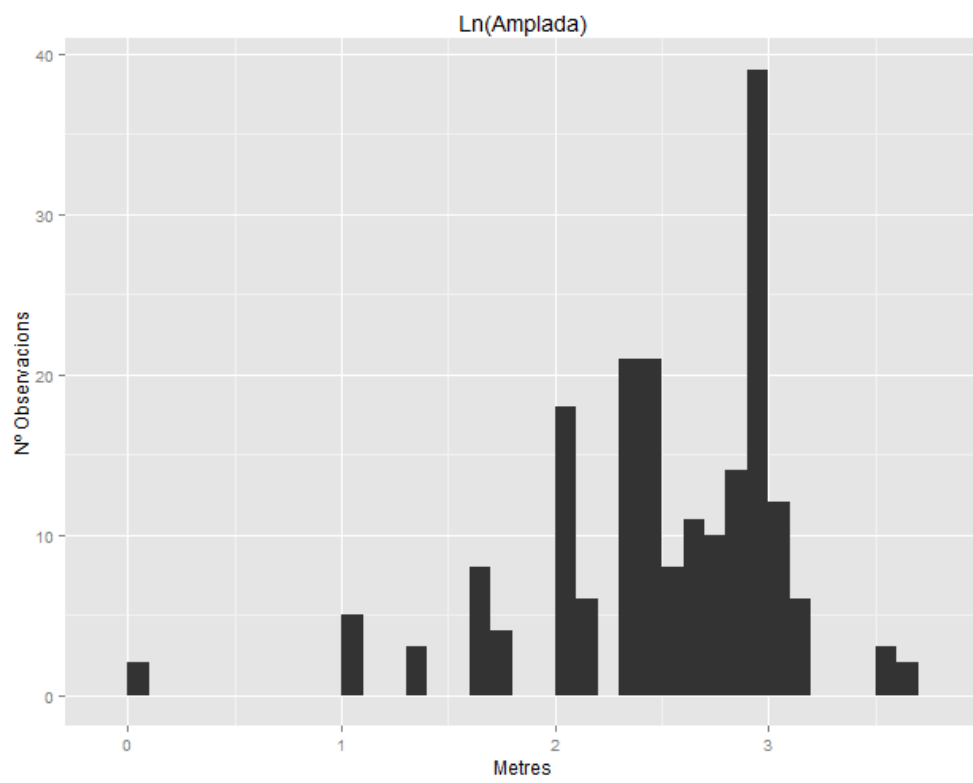
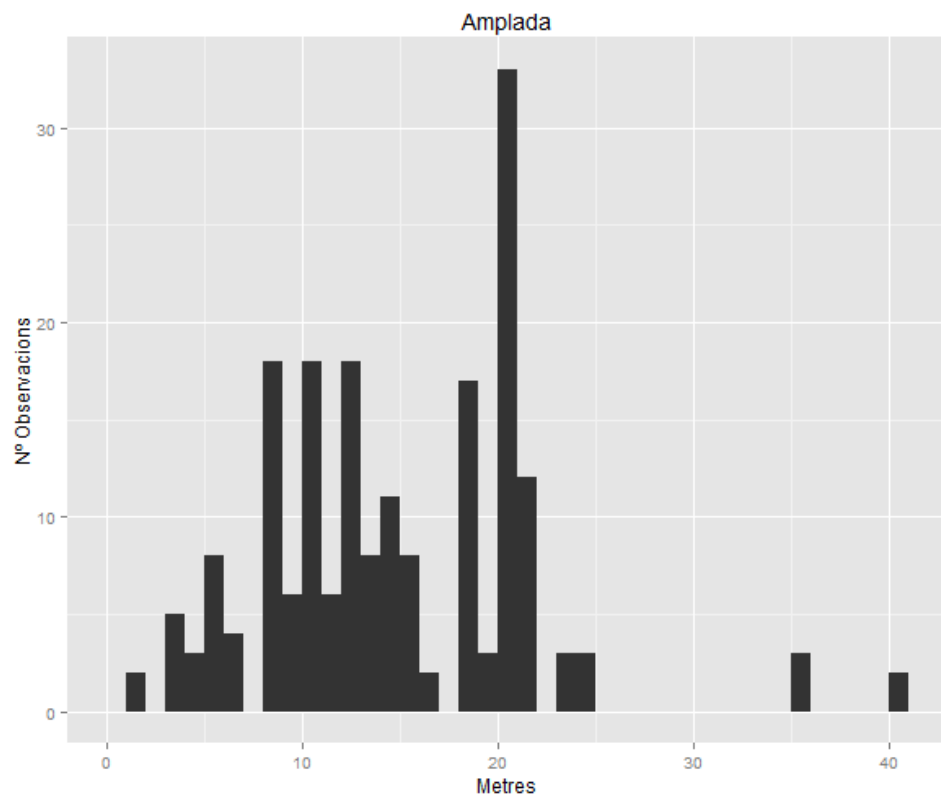
### B.2. Dades inicials

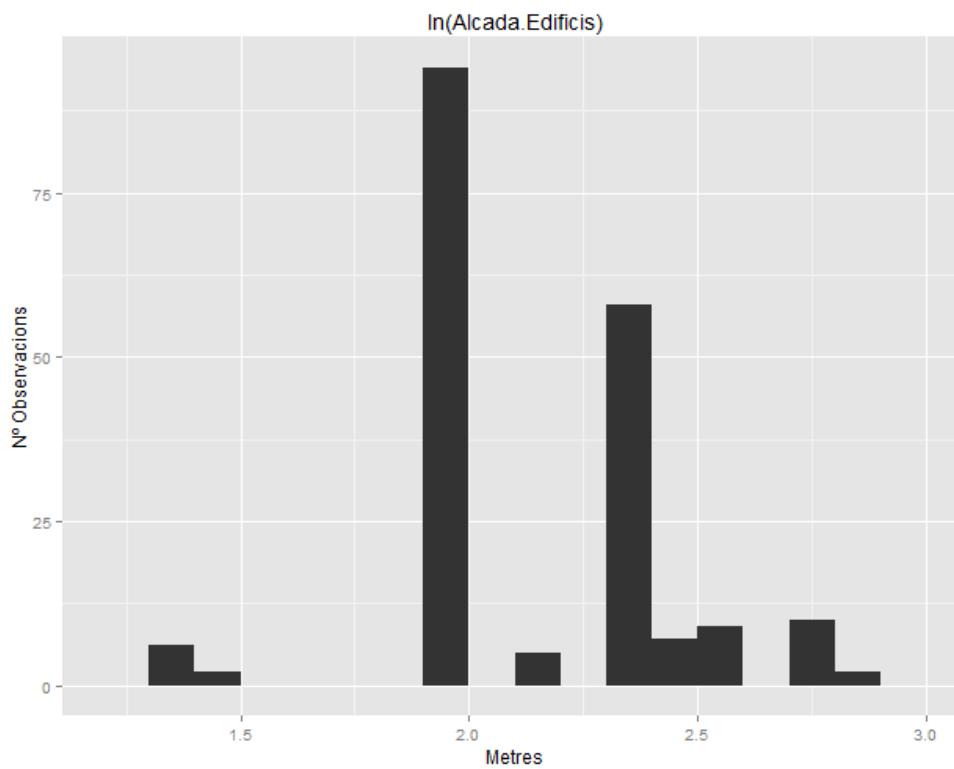
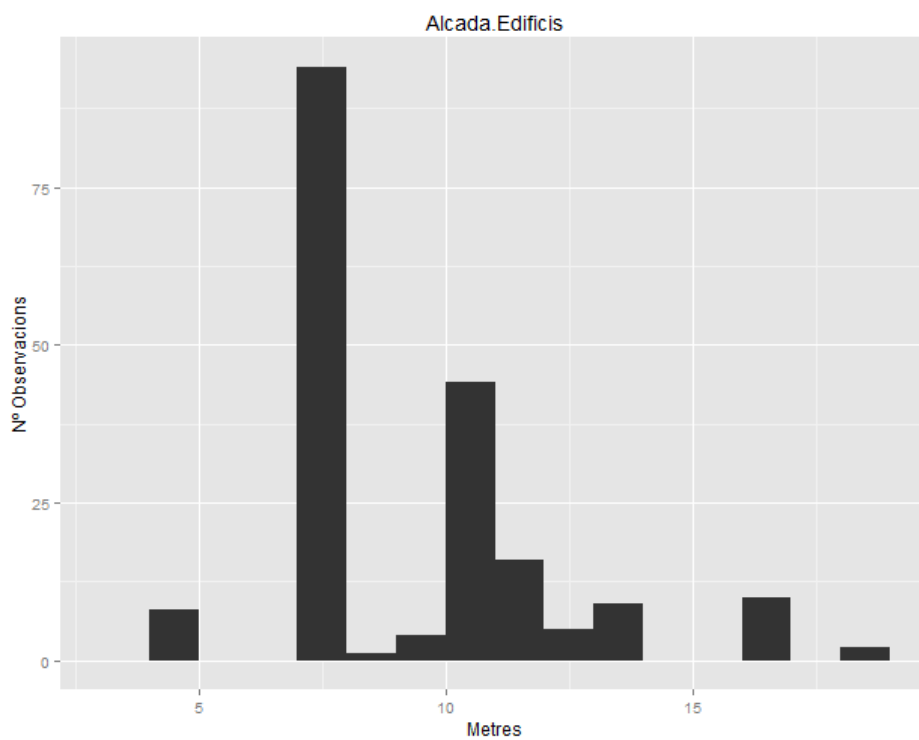
#### B.2.1. Estadístiques descriptives

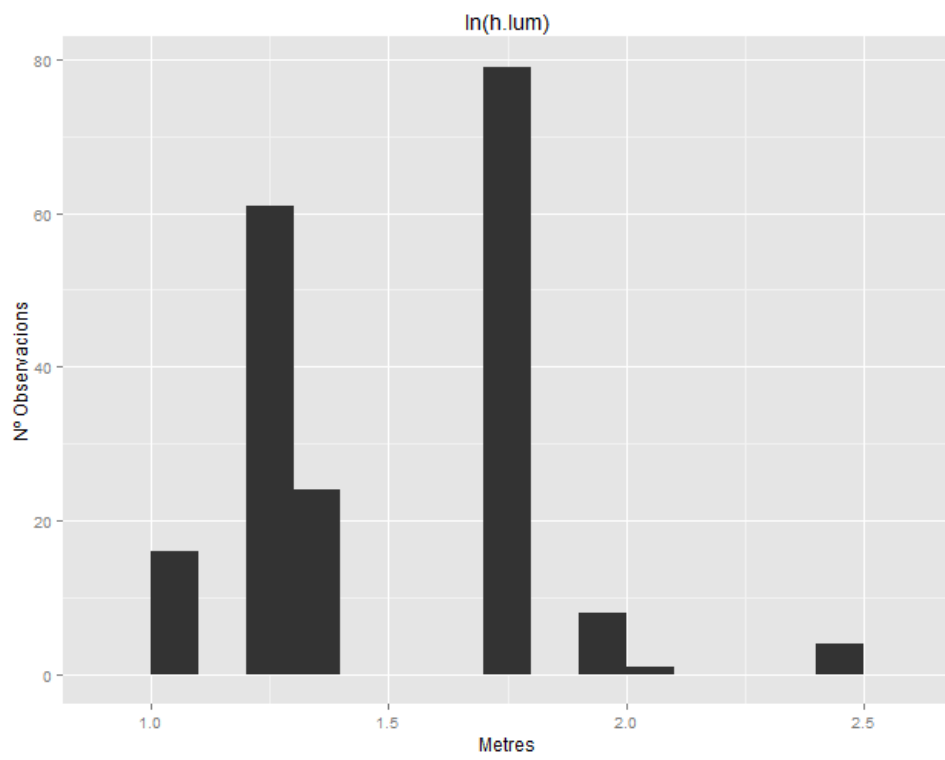
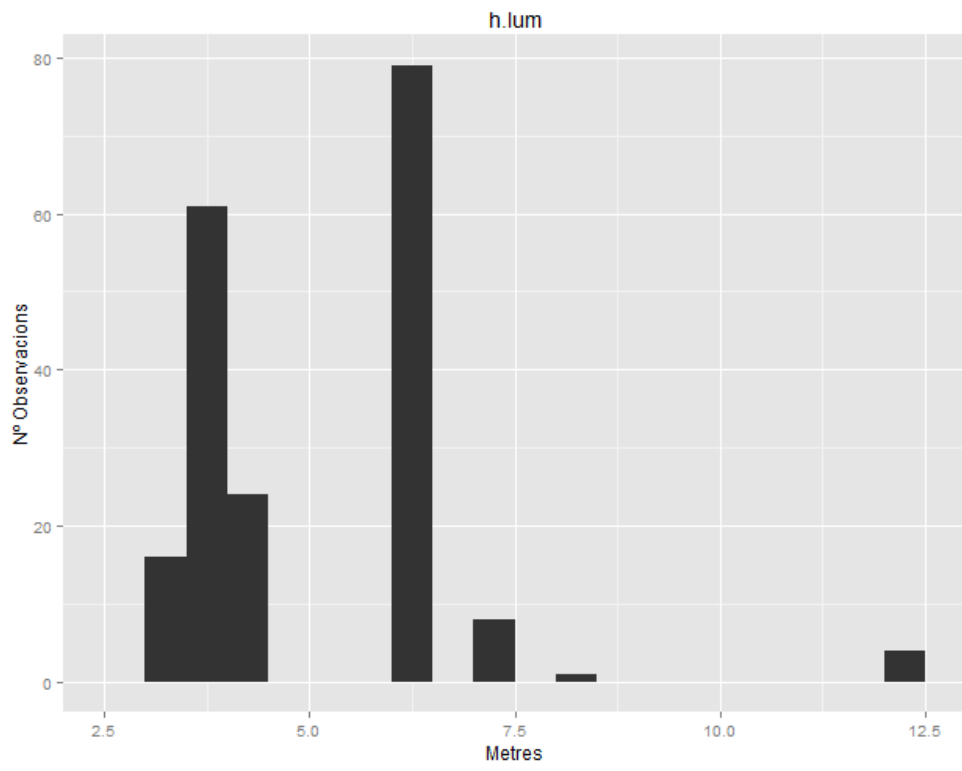
Aquestes són les dades amb les que s'ha realitzat el model estadístic i per tant, es considera que la seva capacitat de predicció està fitada pels límits de cadascuna de les seves variables.

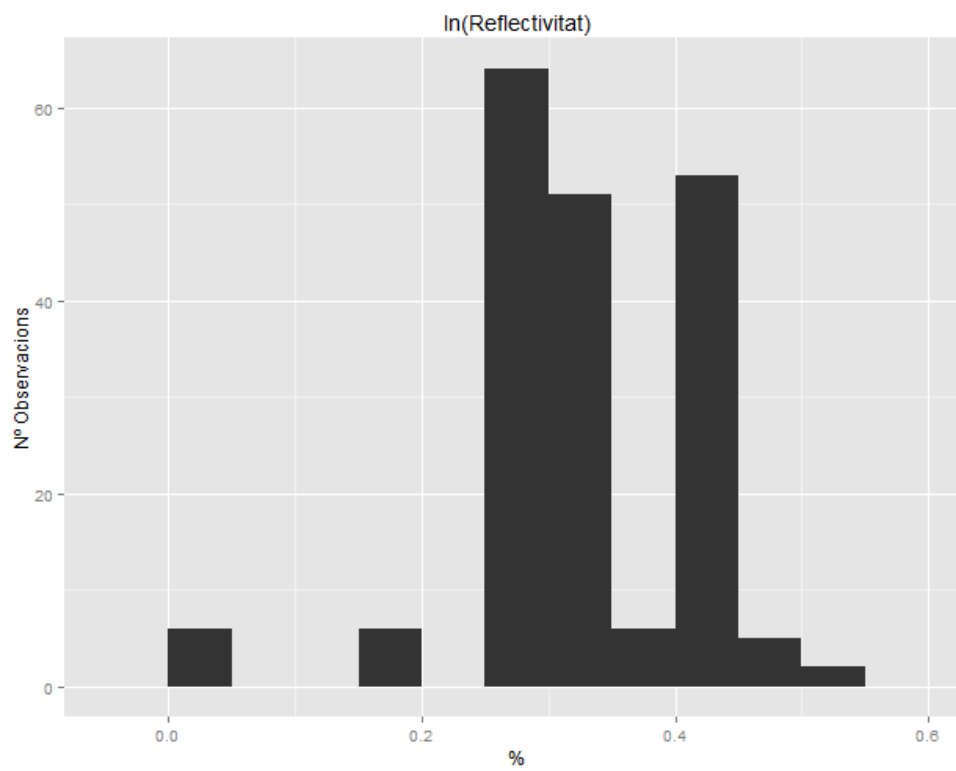
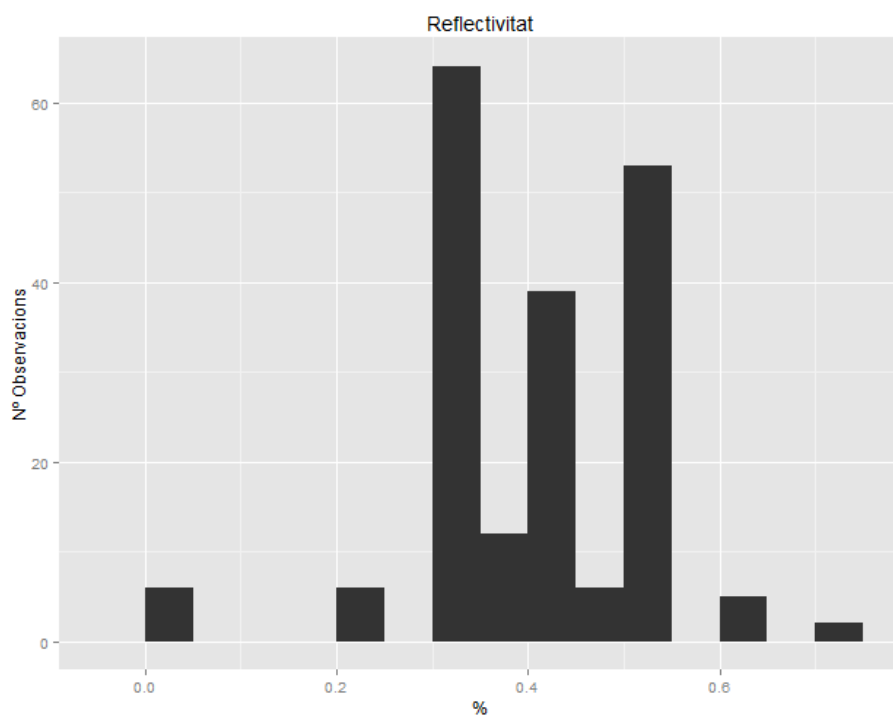
|                 |                   |                 |                 |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| LnEFS           | Longitud          | Amplada         | Alçada.Edificis |
| Min. :-3.5618   | Min. :10.00       | Min. : 1.00     | Min. : 4.000    |
| 1st Qu.:-2.4361 | 1st Qu.:19.00     | 1st Qu.:10.00   | 1st Qu.: 7.000  |
| Median :-2.1221 | Median :20.00     | Median :14.00   | Median : 7.000  |
| Mean :-1.9582   | Mean :19.68       | Mean :14.34     | Mean : 8.936    |
| 3rd Qu.:-1.2790 | 3rd Qu.:22.00     | 3rd Qu.:20.00   | 3rd Qu.:10.000  |
| Max. :-0.7602   | Max. :40.00       | Max. :40.00     | Max. :18.000    |
| Reflectivitat   | h.lum             | Tipus Ocupacio  | LnLongitud      |
| Min. :0.0000    | Min. : 3.000      | A:42 0 :70      | Min. :2.303     |
| 1st Qu.:0.3000  | 1st Qu.: 3.500    | B:10 50 :40     | 1st Qu.:2.944   |
| Median :0.4000  | Median : 4.000    | C:17 100:83     | Median :2.996   |
| Mean :0.3824    | Mean : 4.889      | D:37            | Mean :2.958     |
| 3rd Qu.:0.5000  | 3rd Qu.: 6.000    | E:25            | 3rd Qu.:3.091   |
| Max. :0.7000    | Max. :12.000      | F:62            | Max. :3.689     |
| lnAmplada       | lnAlçada.Edificis | lnReflectivitat | lnh.lum         |
| Min. :0.000     | Min. :1.386       | Min. :0.0000    | Min. :1.099     |
| 1st Qu.:2.303   | 1st Qu.:1.946     | 1st Qu.:0.2624  | 1st Qu.:1.253   |
| Median :2.639   | Median :1.946     | Median :0.3365  | Median :1.386   |
| Mean :2.529     | Mean :2.144       | Mean :0.3199    | Mean :1.536     |
| 3rd Qu.:2.996   | 3rd Qu.:2.303     | 3rd Qu.:0.4055  | 3rd Qu.:1.792   |
| Max. :3.689     | Max. :2.890       | Max. :0.5306    | Max. :2.485     |

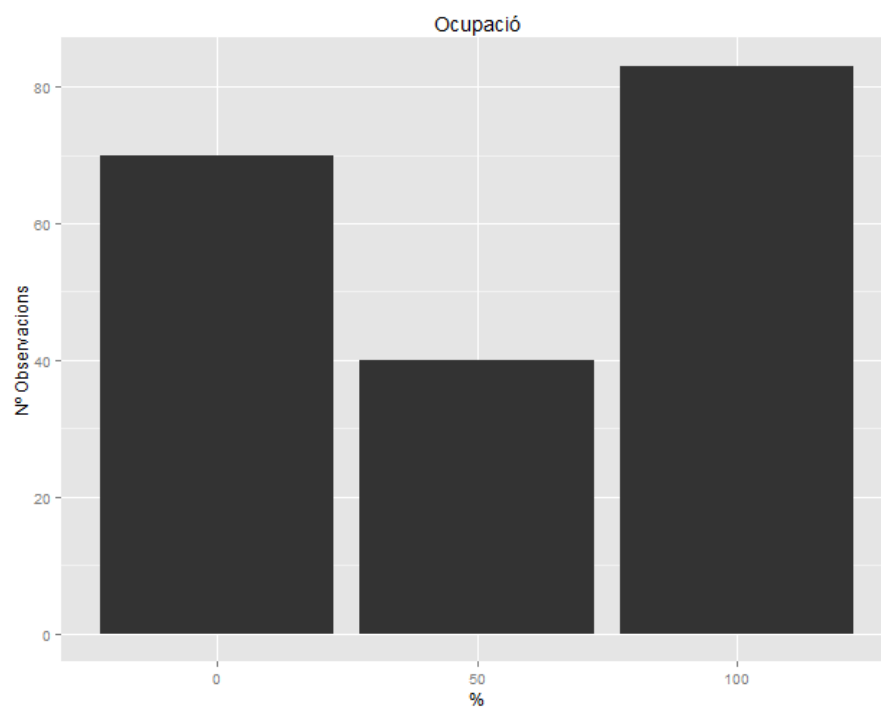
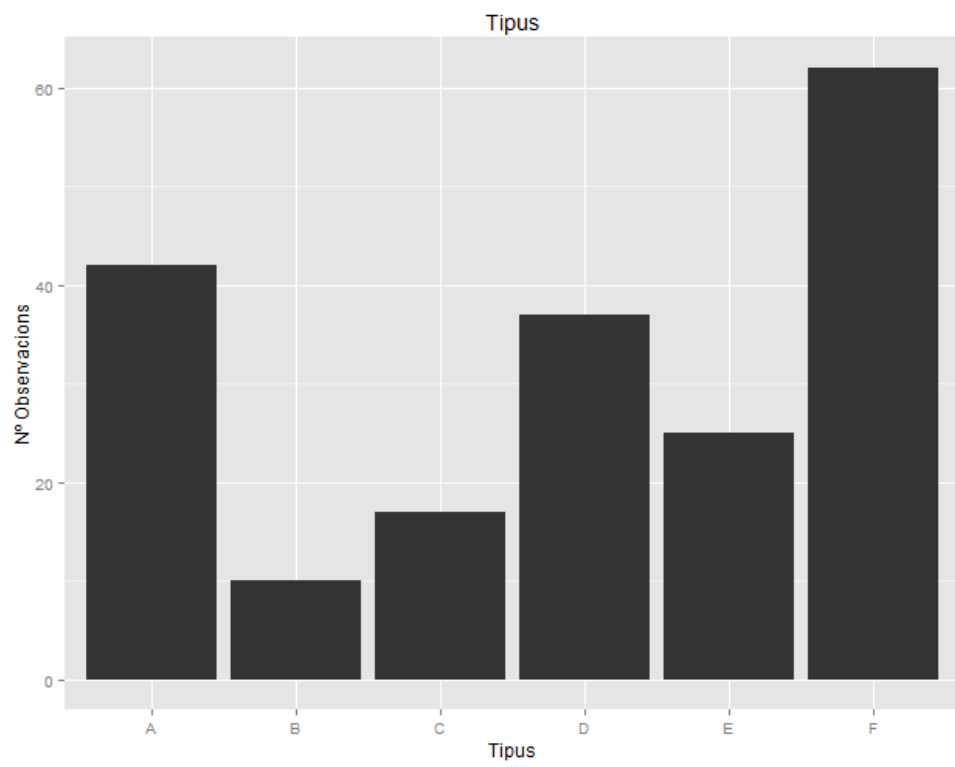




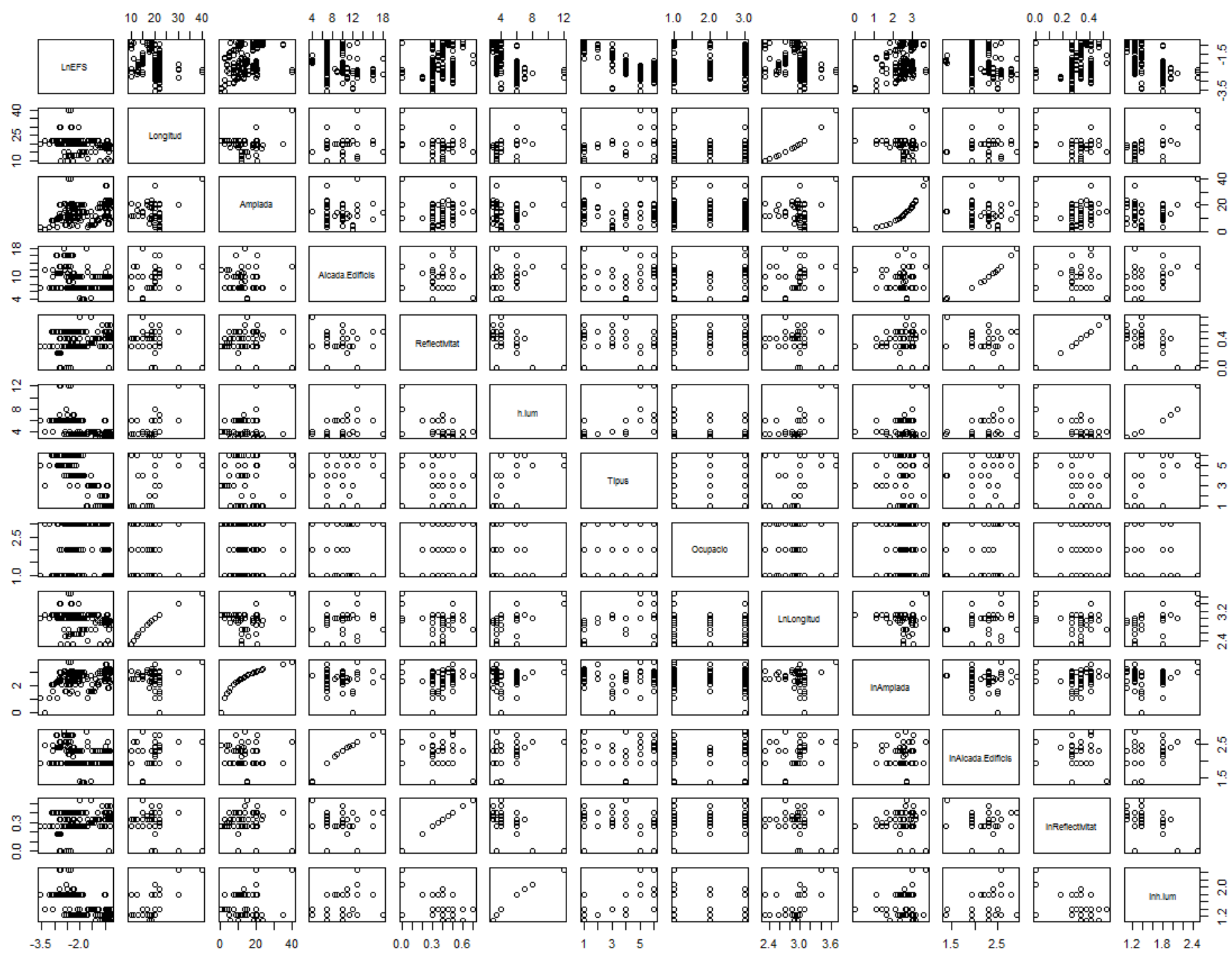




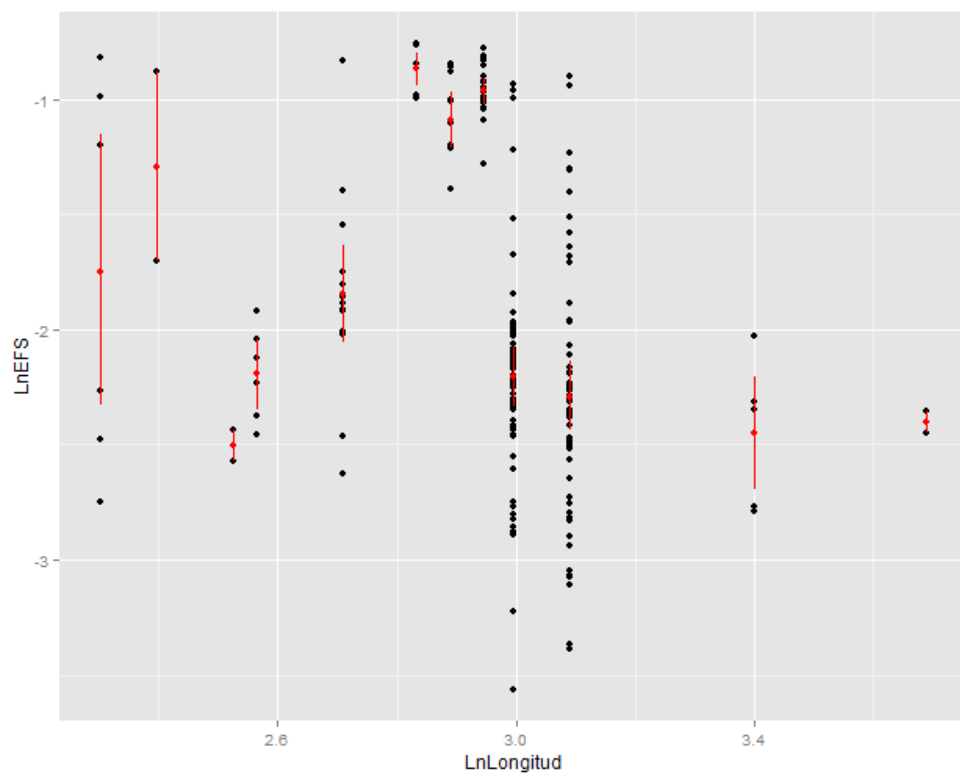
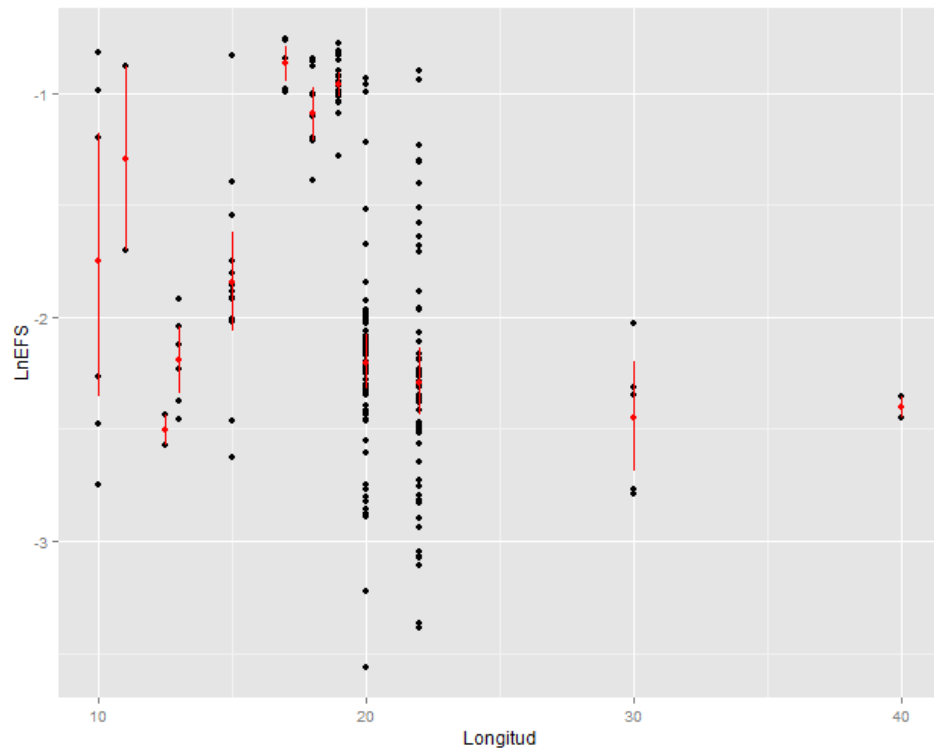


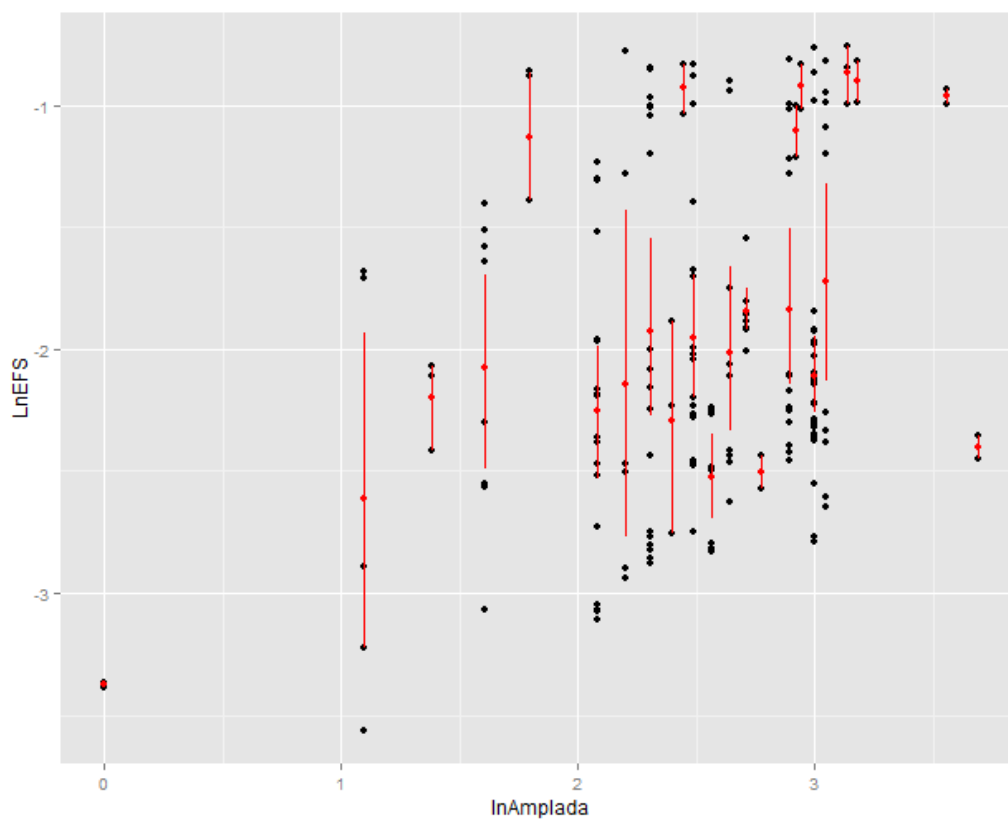
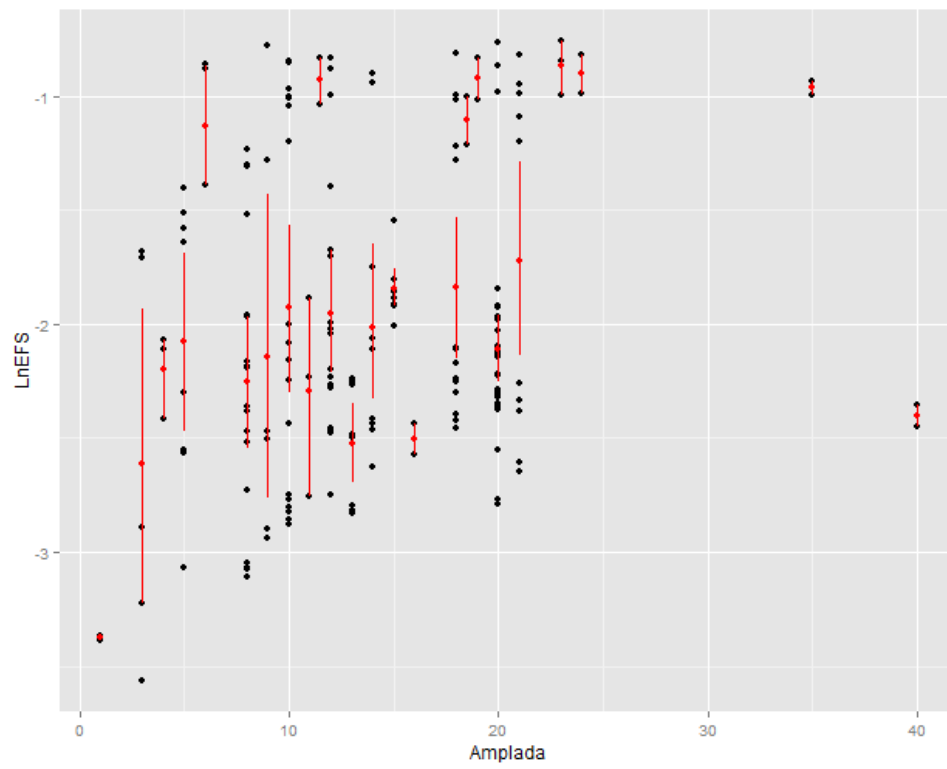


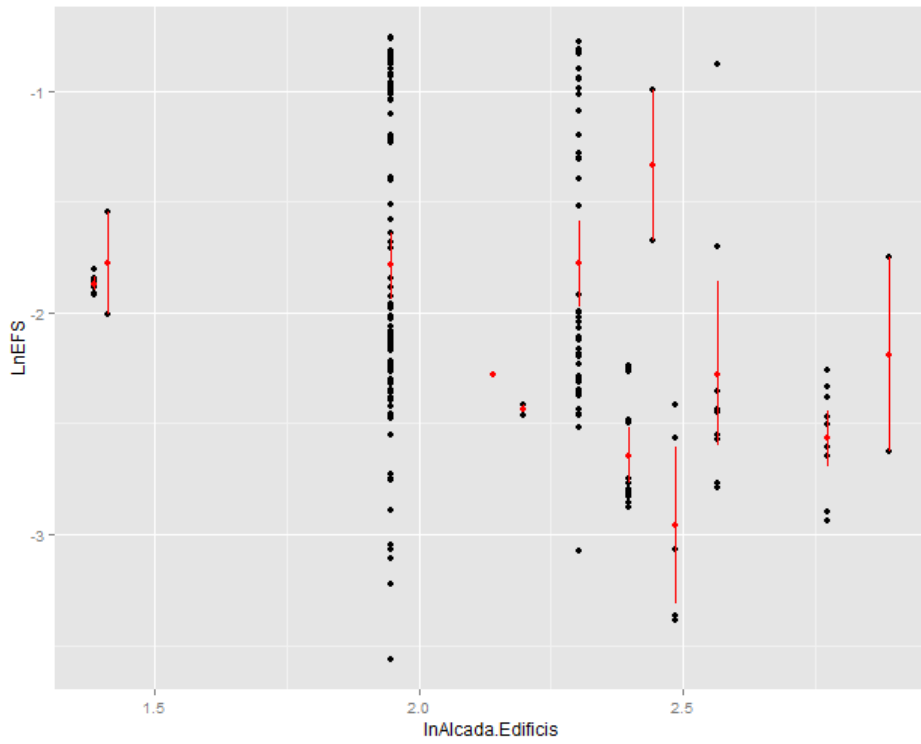
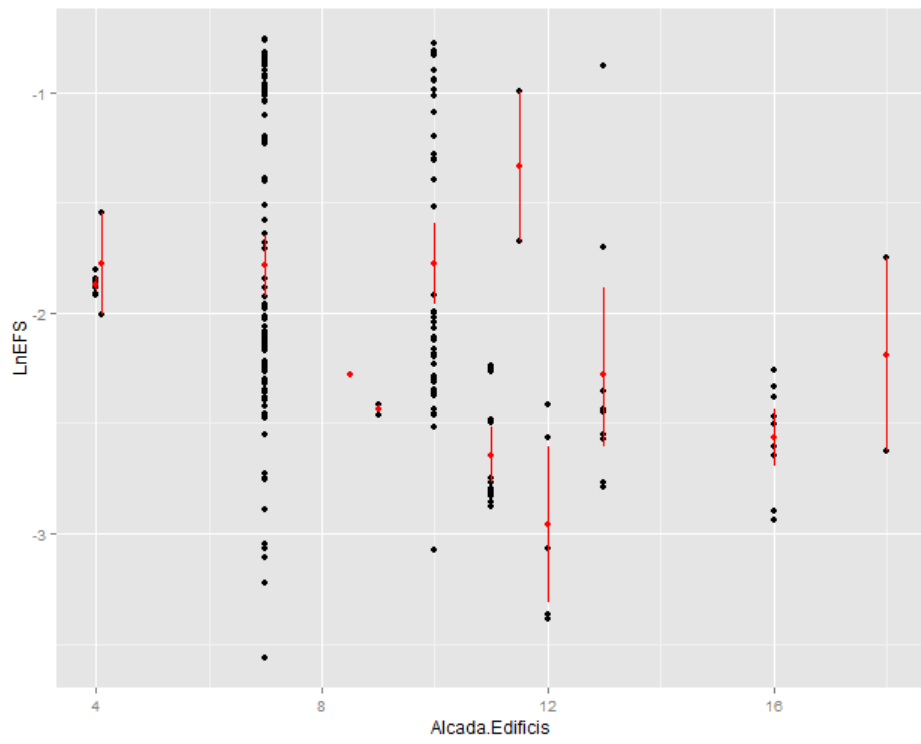
**B.2.2. Relació amb de les variables entre elles i amb la variable resposta**

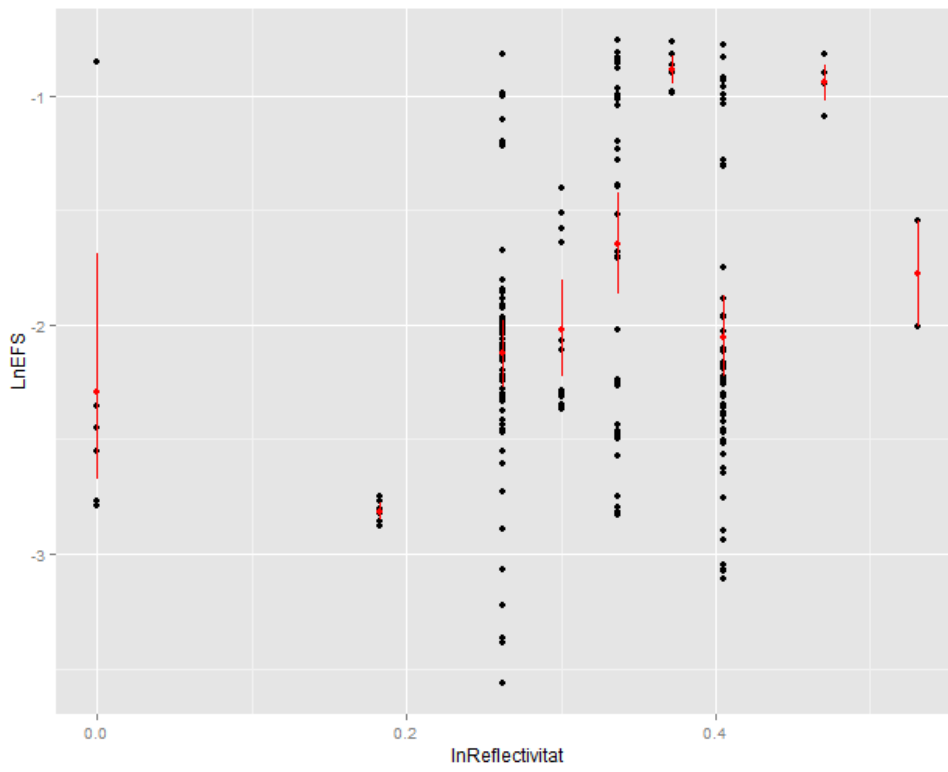
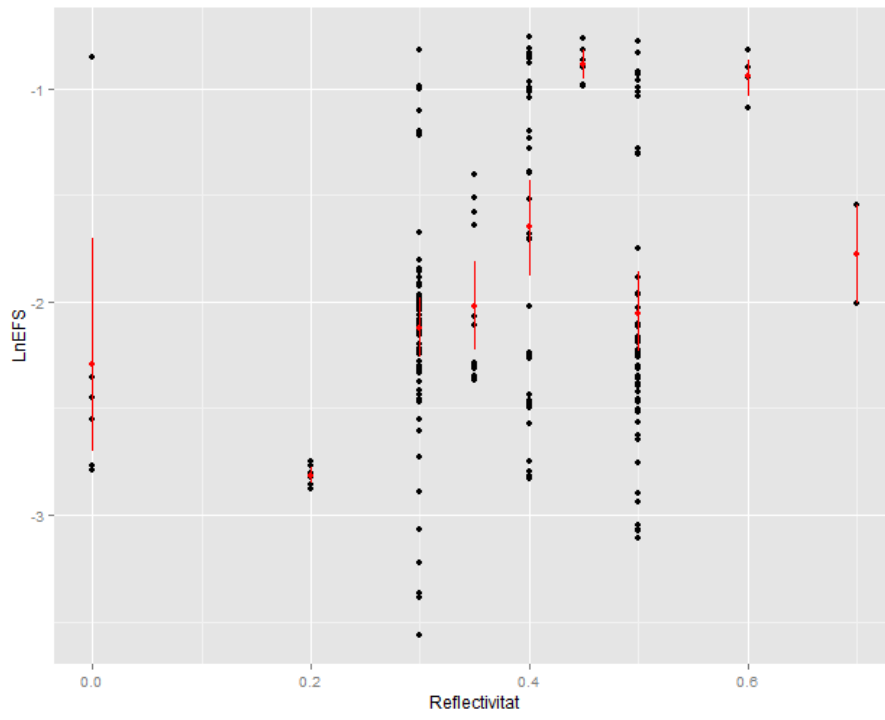


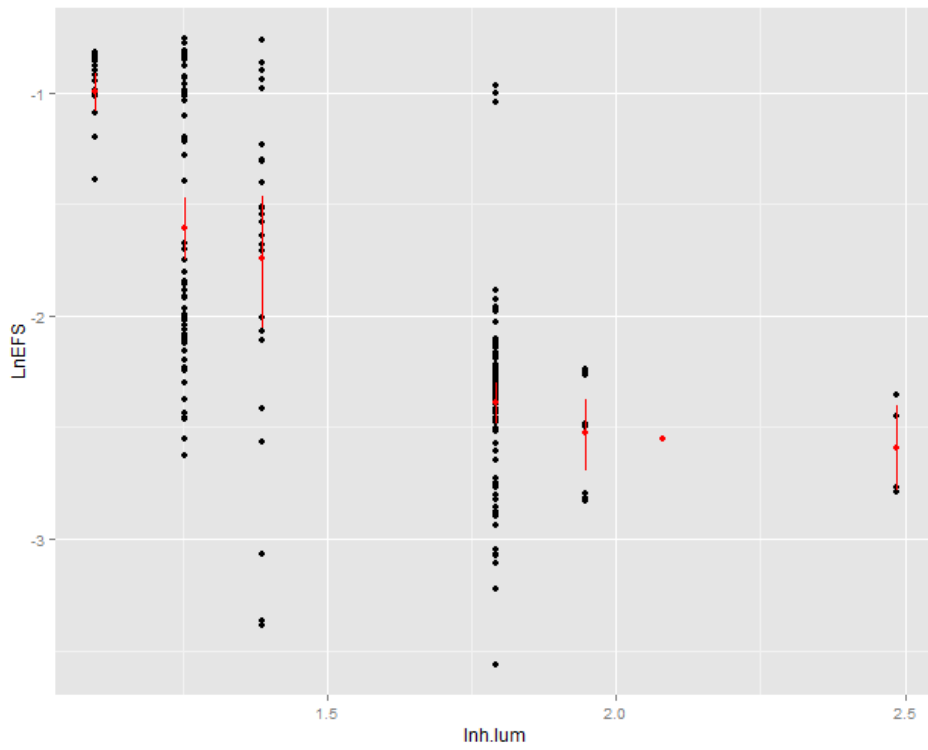
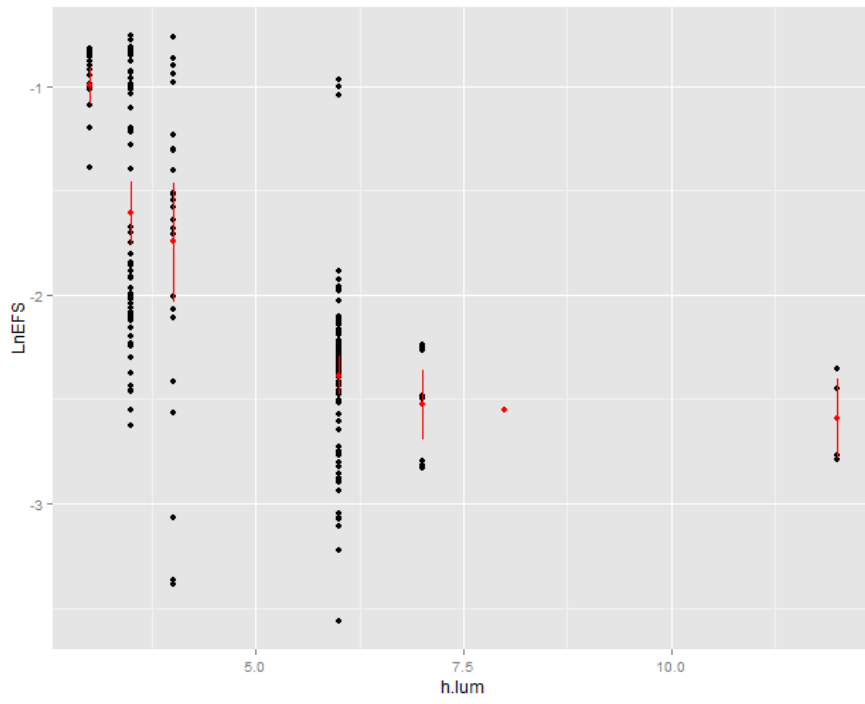
Donat que la relació entre les variables és difícil d'observar en els gràfics anteriors, es realitza els gràfics de la relació amb l'EFS i cada variable.

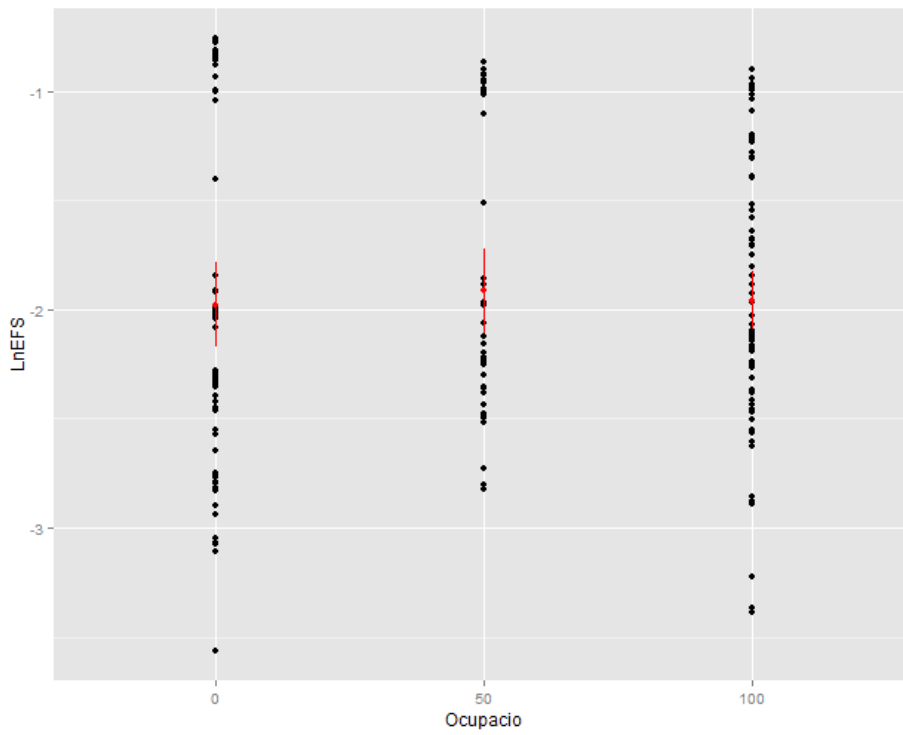
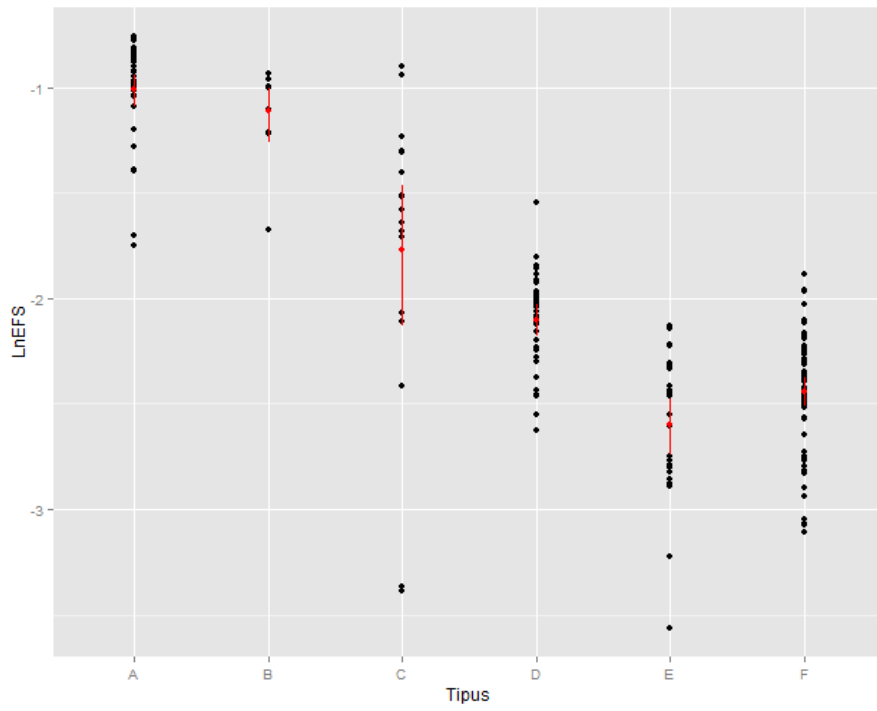












### B.3. Determinació del model

Un cop observades les relacions més evidents, es passa a la realització del model estadístic. Aquest és el resultat d'un nombre elevat d'iteracions i per tant, no es detallen tots els passos. A continuació s'adjunten les dades més rellevants del mateix.

Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ lnH.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
    Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    lnH.lum:Ocupacio +
    Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades2)
```

Residuals:

| Min       | 1Q        | Median   | 3Q       | Max      |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| -0.273435 | -0.068654 | 0.004022 | 0.063859 | 0.300353 |

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.43324 | 0.19889    | -2.178  | 0.030775 | *   |
| lnH.lum                       | -0.60867 | 0.07133    | -8.533  | 8.06e-15 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.43241 | 0.29086    | -1.487  | 0.138975 |     |
| Ocupacio100                   | -1.01567 | 0.20313    | -5.000  | 1.43e-06 | *** |
| lnAmplada                     | 0.23466  | 0.04779    | 4.910   | 2.14e-06 | *** |
| TipusB                        | 0.03259  | 0.32266    | 0.101   | 0.919669 |     |
| TipusC                        | -1.58915 | 0.14535    | -10.934 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.40168 | 0.19453    | -7.206  | 1.86e-11 | *** |
| TipusE                        | -2.47400 | 0.15569    | -15.890 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.88219 | 0.15211    | -12.374 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.09240 | 0.05144    | -1.796  | 0.074267 | .   |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.28726 | 0.08291    | -3.465  | 0.000674 | *** |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.61089 | 0.04260    | -14.339 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.36102 | 0.16230    | -2.224  | 0.027455 | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.75673  | 0.30199    | 2.506   | 0.013168 | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.65695  | 0.22531    | 7.354   | 8.06e-12 | *** |
| lnH.lum:Ocupacio50            | 0.59407  | 0.08200    | 7.245   | 1.49e-11 | *** |
| lnH.lum:Ocupacio100           | 1.24722  | 0.06852    | 18.201  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.14518 | 0.05880    | -2.469  | 0.014548 | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.15961 | 0.04053    | -3.938  | 0.000120 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | -0.05413 | 0.10759    | -0.503  | 0.615572 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.67544  | 0.06429    | 10.506  | < 2e-16  | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.12975  | 0.07414    | 1.750   | 0.081911 | .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.40289  | 0.05818    | 6.924   | 8.87e-11 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.19170  | 0.05733    | 3.344   | 0.001019 | **  |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

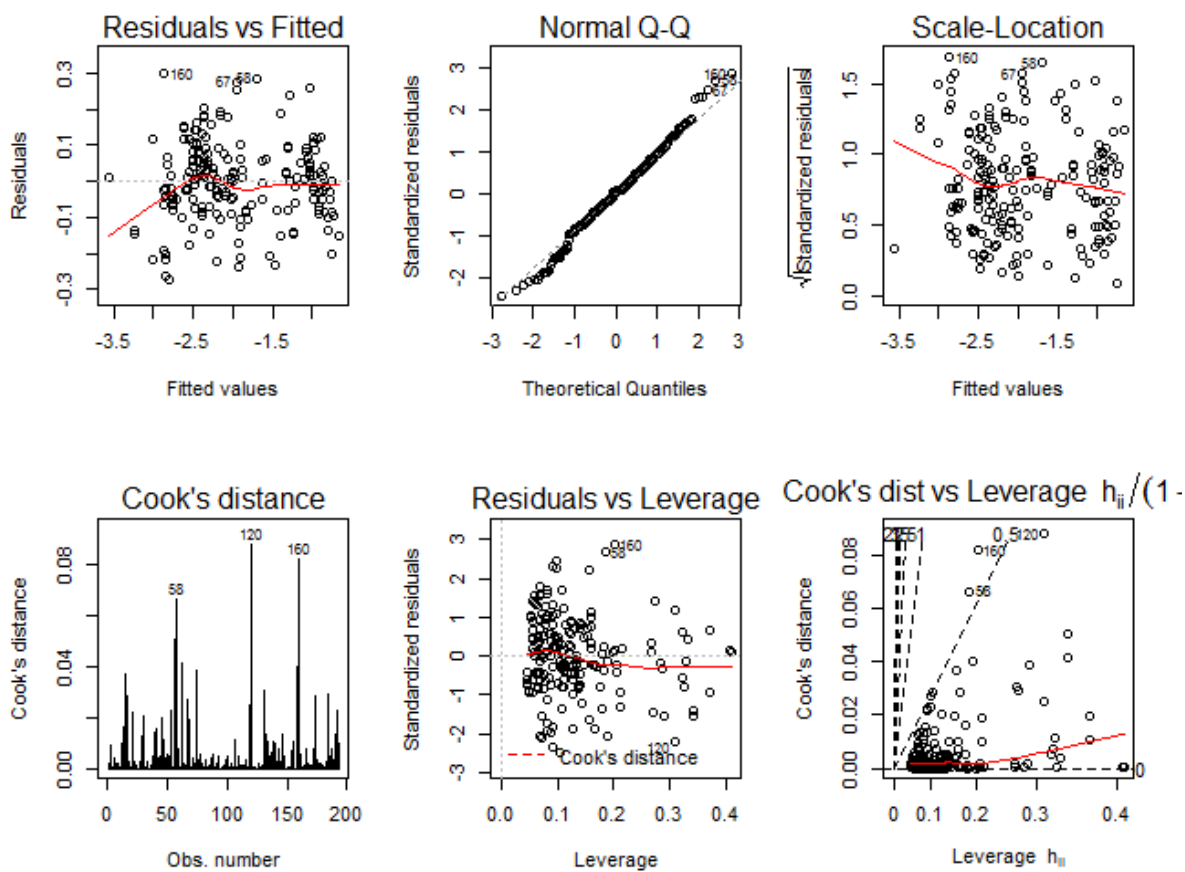
Residual standard error: 0.1174 on 168 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9749, Adjusted R-squared: 0.9713  
 F-statistic: 271.7 on 24 and 168 DF, p-value: < 2.2e-16

On a la primera columna veiem les variables independents del model, a la segona el coeficient (b<sub>i</sub>) i a la tercera (Std. Error) la desviació estàndard de l'error. Les últimes dues columnes representen el valor de la T d'Student per tal de fer el contrast de significació de cada variable i el p-valor de la prova de significació.

Així doncs, si:

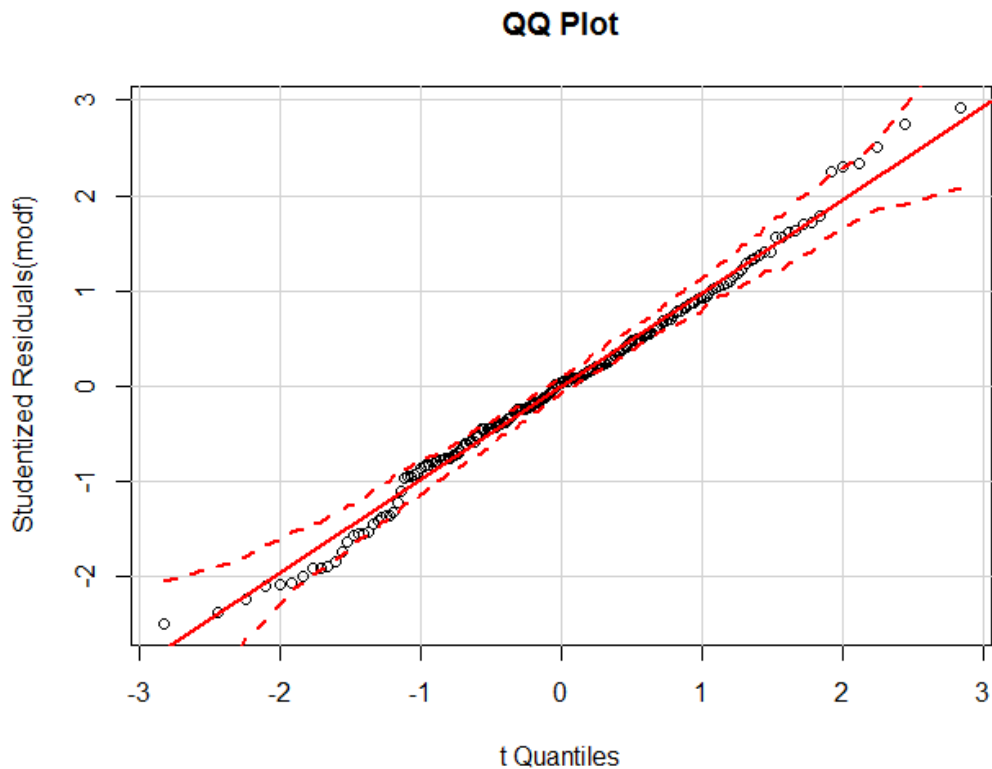
- $H_0: b_i = 0$ . Hipòtesis nul·la en la que no podem descartar que el coeficient de la regressió per a la variable independent i sigui zero.
- $H_1: b_i \neq 0$ . Hipòtesis alternativa on es confirma que aquest coeficient és diferent de zero.

La hipòtesis nul·la es rebutjarà quan el p-valor sigui inferior al 0,05 (segons el nivell de significació, en aquest cas 0,05 (Interval de confiança 95%)). Fet que es dona en la majoria de casos i en els que no es dona, hi ha una justificació des del punt de vista de la importància del paràmetre pel bon ajust de la regressió.



### B.3.1. Proves d'hipòtesi del model

#### Proves de la normalitat residual



#### Anderson-Darling normality test

```
data: modf$res
A = 0.4059, p-value = 0.3482
```

El test de normalitat no rebutja la hipòtesis de normalitat residual.

Altrament, també s'ha realitzat la regressió dels residus respecte al resultat del model per tal d'esbrinar si tenen relació, es pot observar que tant els valors del coeficient de determinació com el p-valor validen que no hi ha relació. Això es fa per tal de buscar si hi ha alguna variable no inclosa en el model que pugui distorsionar els resultats, fet que no es dona.

```
Call:
lm(formula = abs(modf$res) ~ modf$fit)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.08782 -0.05376 -0.01871  0.03895  0.20811
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.068962   0.015176   4.544 9.76e-06 ***
modf$fit    -0.008133   0.007318  -1.111  0.268
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Residual standard error: 0.06939 on 191 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.006426, Adjusted R-squared: 0.001224  
 F-statistic: 1.235 on 1 and 191 DF, p-value: 0.2678

**Outlier Test:**

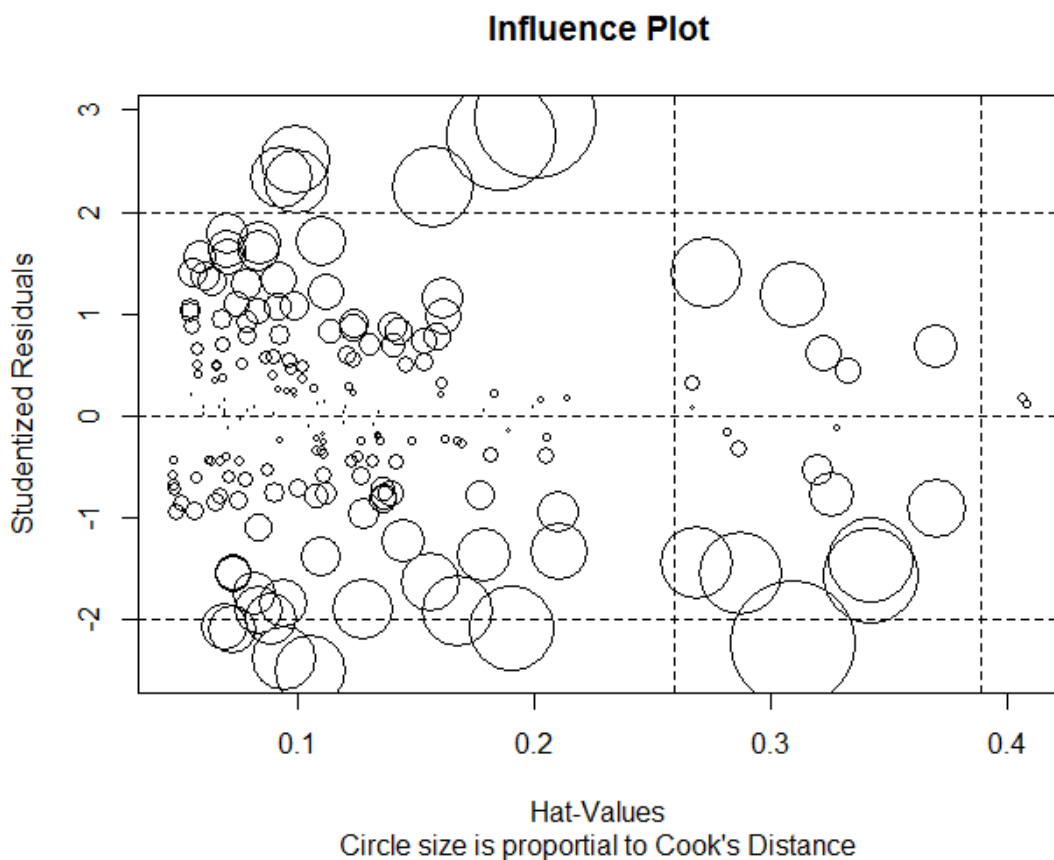
No Studentized residuals with Bonferonni  $p < 0.05$

Largest |rstudent|:

|     | rstudent | unadjusted p-value | Bonferonni p |
|-----|----------|--------------------|--------------|
| 160 | 2.924135 | 0.003934           | 0.75926      |

Aquest test certifica que no hi ha observacions influents, cal mirar el P-valor ajustat amb la correcció de Bonferroni ja que aquest realitza una ajust de l'efecte del nombre d'observacions.

També s'ha realitzat un gràfic d'observacions influents per tal de determinar si hi ha observacions que facin "palanca" del model. L'efecte palanca es defineix com la distorsió dels coeficients del model a causa d'una o varies observacions influents.



**Factors de varianza influents (VIF)**

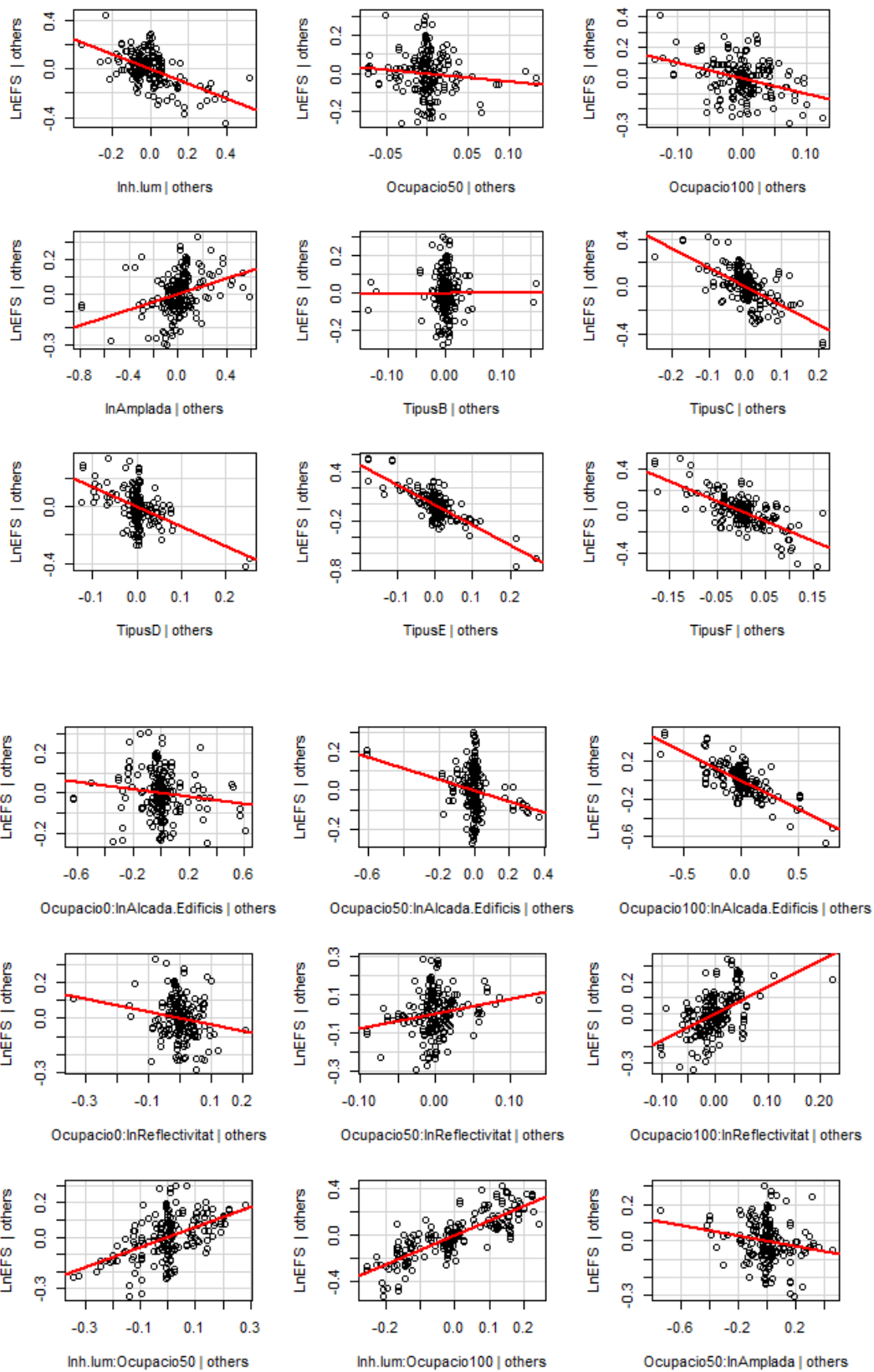
Aquest test es realitza per detectar aliàsi o multicolinealitat entre les diverses variables.

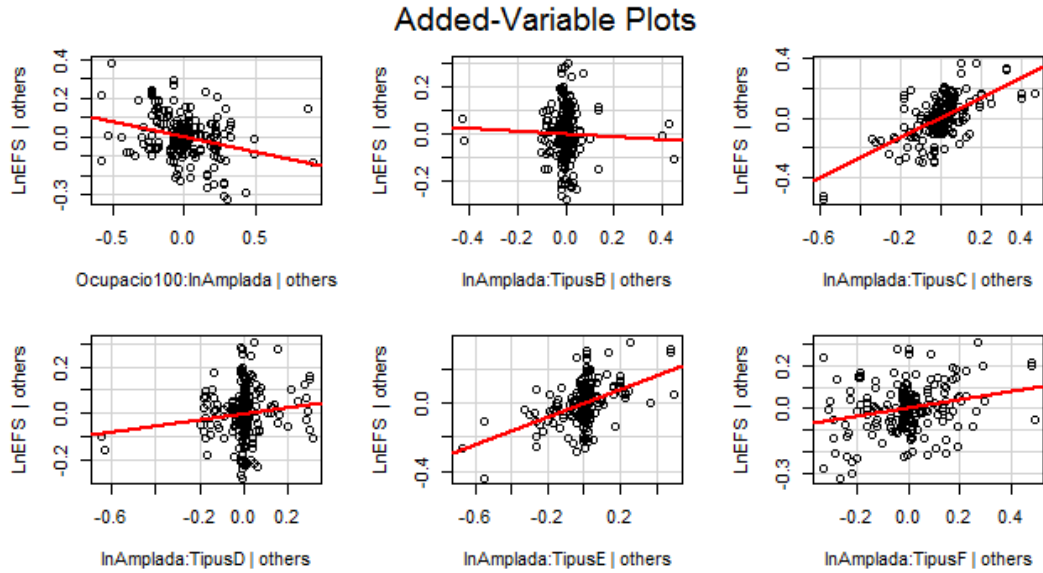
```
vif(modf) # variance inflation factors
              GVIF Df  GVIF^(1/(2*Df))
lnh.lum      6.974539e+00  1    2.640935
Ocupacio     1.892437e+04  2   11.728848
lnAmplada    1.045663e+01  1    3.233672
Tipus        4.554213e+07  5    5.832320
Ocupacio:lnAlcada.Edificis  5.382021e+03  3    4.186241
Ocupacio:lnReflectivitat    9.225769e+02  3    3.120090
lnh.lum:Ocupacio            1.023312e+03  2    5.655903
Ocupacio:lnAmplada          1.468699e+03  2    6.190607
lnAmplada:Tipus             3.550025e+07  5    5.688832
```

A vistes dels resultats obtinguts, es podria determinar que hi ha colinealitat entre algunes variables ( $VIF > 5$ ), això no és així donat que cal tenir en compte que el VIF és alt a les variables que apareixen interaccionades en el model.

**Anàlisi de l'efecte net de cada variable**

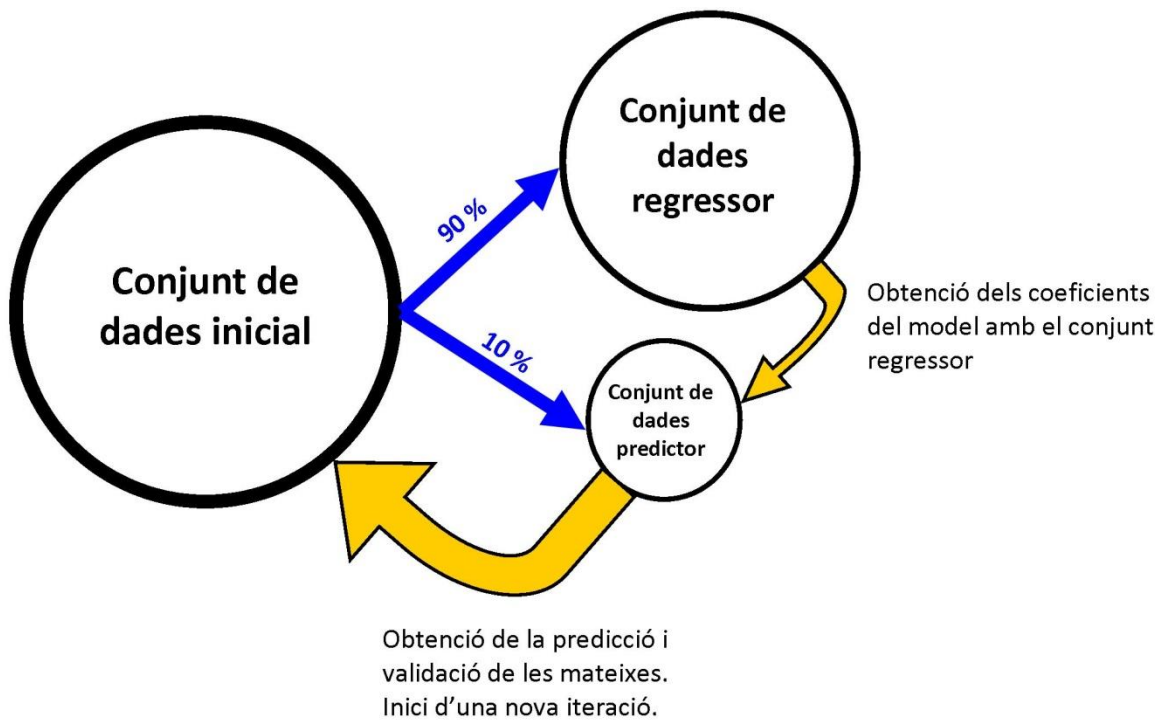
L'efecte de la variació de cada variable es realitza a través dels "Added variable plots" o gràfics d'adició de variable. En aquests es pot observar l'efecte de cada variable o interacció entre variables amb la resposta ajustat amb la resta de variables independents o predictores.





**B.3.2. Procés de validació creuada**

Com s’ha explicat a la memòria, el model s’ha sotmès a un procés de validació creuada. Aquest consisteix en fragmentar el conjunt de dades inicial en dos conjunts de dades, un amb el 10% de les mateixes i un altre amb el 90%. Amb el conjunt de dades gran es fa la regressió amb les variables del model (conjunt de dades regressor) i s’aplica el model obtingut a cada iteració al conjunt amb poques dades (conjunt de dades predictor). L’esquema del procés es pot veure a continuació:



Així, si s’observa que el valor de la variable dependent (Y) es troba dins de l’interval de predicció, es determina que el model fa una bona predicció d’aquella observació i serà d’esperar que el 95% de les observacions es trobin fora pel nivell de significació escollit.

Amb aquest procés, també s’ha calculat el “Mean Absolute Prediction Error” (MAPE) que és la mitja de l’error absolut comès a cada observació. També es pot observar una gràfica amb el valor real de cada observació en negre i en vermell el valor obtingut a través del model ajustat.

Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
  Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
  ln.h.lum:Ocupacio +
  Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:

| Min       | 1Q        | Median   | 3Q       | Max      |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| -0.268058 | -0.065613 | 0.001979 | 0.062642 | 0.314806 |

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.49482 | 0.21528    | -2.299  | 0.022930 | *   |
| ln.h.lum                      | -0.59172 | 0.07841    | -7.546  | 4.22e-12 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.43527 | 0.30269    | -1.438  | 0.152549 |     |
| Ocupacio100                   | -0.94511 | 0.21495    | -4.397  | 2.09e-05 | *** |
| lnAmplada                     | 0.23500  | 0.05107    | 4.601   | 8.95e-06 | *** |
| TipusB                        | 0.02916  | 0.32898    | 0.089   | 0.929497 |     |
| TipusC                        | -1.61938 | 0.15072    | -10.745 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.40084 | 0.20301    | -6.900  | 1.41e-10 | *** |
| TipusE                        | -2.50587 | 0.16332    | -15.344 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.90471 | 0.15832    | -12.031 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.07565 | 0.05768    | -1.312  | 0.191676 |     |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.28495 | 0.08488    | -3.357  | 0.001002 | **  |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.60278 | 0.04408    | -13.675 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.35450 | 0.17367    | -2.041  | 0.043005 | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.78611  | 0.32039    | 2.454   | 0.015304 | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.62217  | 0.23539    | 6.891   | 1.48e-10 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio50           | 0.58899  | 0.08785    | 6.704   | 3.98e-10 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio100          | 1.21793  | 0.07349    | 16.573  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.13340 | 0.06245    | -2.136  | 0.034323 | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.16007 | 0.04270    | -3.748  | 0.000255 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | -0.05283 | 0.10988    | -0.481  | 0.631349 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.70958  | 0.06906    | 10.275  | < 2e-16  | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.12939  | 0.07754    | 1.669   | 0.097285 | .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.41673  | 0.06124    | 6.805   | 2.34e-10 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.19812  | 0.06025    | 3.288   | 0.001260 | **  |

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

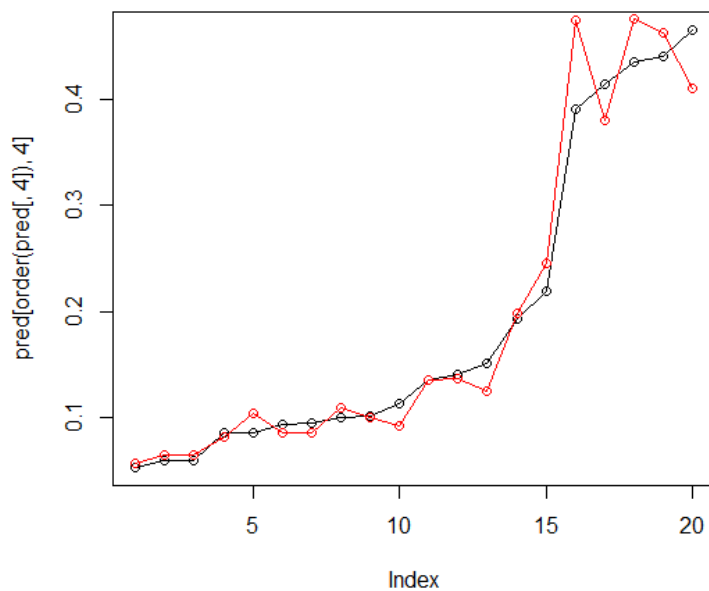
Residual standard error: 0.1191 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9744, Adjusted R-squared: 0.9703  
 F-statistic: 235.1 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

[1] 0.01914973

|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs      | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| 137 | 0.12454282 | 0.09766991 | 0.15880955 | 0.15148670 | 0.0269438803  | 1    |
| 166 | 0.09208410 | 0.07209439 | 0.11761639 | 0.11264000 | 0.0205558938  | 1    |
| 144 | 0.08601701 | 0.06727694 | 0.10997716 | 0.09539906 | 0.0093820482  | 1    |
| 189 | 0.10979269 | 0.08551631 | 0.14096065 | 0.10000000 | -0.0097926918 | 1    |
| 85  | 0.08119364 | 0.06362867 | 0.10360750 | 0.08542857 | 0.0042349260  | 1    |
| 31  | 0.41062924 | 0.32099020 | 0.52530070 | 0.46559199 | 0.0549627472  | 1    |
| 60  | 0.19894621 | 0.15551288 | 0.25451008 | 0.19366197 | -0.0052842416 | 1    |
| 94  | 0.13551302 | 0.10608820 | 0.17309917 | 0.13571429 | 0.0002012629  | 1    |

|     |            |            |            |            |               |   |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|---|
| 133 | 0.08610345 | 0.06661557 | 0.11129238 | 0.09419718 | 0.0080937302  | 1 |
| 180 | 0.06452283 | 0.05063263 | 0.08222357 | 0.05915555 | -0.0053672727 | 1 |
| 7   | 0.46289688 | 0.35880202 | 0.59719152 | 0.44043843 | -0.0224584522 | 1 |
| 28  | 0.38079894 | 0.29679563 | 0.48857807 | 0.41376525 | 0.0329663106  | 1 |
| 131 | 0.10424956 | 0.07906526 | 0.13745570 | 0.08634259 | -0.0179069702 | 1 |
| 1   | 0.47525258 | 0.37130184 | 0.60830568 | 0.43556437 | -0.0396882181 | 1 |
| 69  | 0.47408448 | 0.36245993 | 0.62008536 | 0.39101563 | -0.0830688542 | 1 |
| 81  | 0.13660930 | 0.10619445 | 0.17573520 | 0.14020408 | 0.0035947793  | 1 |
| 68  | 0.24610391 | 0.19134656 | 0.31653107 | 0.21875000 | -0.0273539072 | 1 |
| 70  | 0.09972606 | 0.07765320 | 0.12807311 | 0.10208334 | 0.0023572774  | 1 |
| 185 | 0.05717771 | 0.04434241 | 0.07372828 | 0.05307937 | -0.0040983401 | 1 |
| 163 | 0.06452283 | 0.05063263 | 0.08222357 | 0.05984000 | -0.0046828286 | 1 |
| [1] | 1          |            |            |            |               |   |

MAPE= 1.91



Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
    Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    ln.h.lum:Ocupacio +
    Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:

| Min       | 1Q        | Median    | 3Q       | Max      |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.260770 | -0.062919 | -0.000996 | 0.069146 | 0.292018 |

Coefficients:

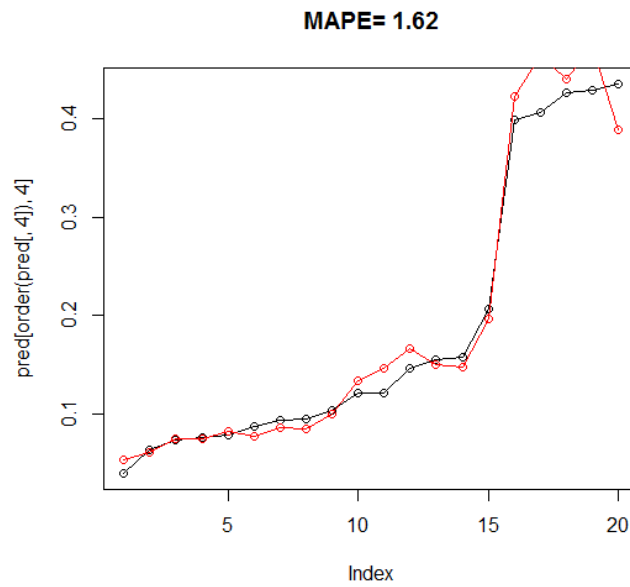
|             | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept) | -0.44940 | 0.22568    | -1.991  | 0.04829  | *   |
| ln.h.lum    | -0.62708 | 0.07711    | -8.132  | 1.57e-13 | *** |
| Ocupacio50  | -0.47518 | 0.32508    | -1.462  | 0.14594  |     |
| Ocupacio100 | -1.03326 | 0.22651    | -4.562  | 1.06e-05 | *** |
| lnAmplada   | 0.25345  | 0.05073    | 4.996   | 1.63e-06 | *** |
| TipusB      | 0.06767  | 0.33231    | 0.204   | 0.83892  |     |
| TipusC      | -1.59937 | 0.15161    | -10.549 | < 2e-16  | *** |
| TipusD      | -1.43370 | 0.20550    | -6.977  | 9.40e-11 | *** |
| TipusE      | -2.33896 | 0.17199    | -13.599 | < 2e-16  | *** |
| TipusF      | -1.87447 | 0.15816    | -11.852 | < 2e-16  | *** |

|                               |          |         |         |          |     |
|-------------------------------|----------|---------|---------|----------|-----|
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.08662 | 0.05488 | -1.578  | 0.11665  |     |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.27747 | 0.09496 | -2.922  | 0.00403  | **  |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.61639 | 0.04658 | -13.234 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.41563 | 0.20030 | -2.075  | 0.03971  | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.79610  | 0.32710 | 2.434   | 0.01613  | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.74422  | 0.23912 | 7.294   | 1.69e-11 | *** |
| lnh.lum:Ocupacio50            | 0.60060  | 0.08728 | 6.881   | 1.56e-10 | *** |
| lnh.lum:ocupacio100           | 1.28539  | 0.07348 | 17.494  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.14836 | 0.06193 | -2.396  | 0.01785  | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.18316 | 0.04356 | -4.205  | 4.50e-05 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | -0.06683 | 0.11075 | -0.603  | 0.54714  |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.68834  | 0.06835 | 10.071  | < 2e-16  | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.14153  | 0.07843 | 1.805   | 0.07317  | .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.35610  | 0.06391 | 5.572   | 1.16e-07 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.18822  | 0.05984 | 3.146   | 0.00200  | **  |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1193 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9743, Adjusted R-squared: 0.9701  
 F-statistic: 233.9 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

| [1] | 0.01622554 |            |            |            |               |      |  |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|------|--|
|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs      | fora |  |
| 87  | 0.07687236 | 0.06007198 | 0.09837131 | 0.08750000 | 0.0106276435  | 1    |  |
| 62  | 0.46446087 | 0.35584735 | 0.60622597 | 0.40669014 | -0.0577707326 | 1    |  |
| 182 | 0.08531464 | 0.06668477 | 0.10914918 | 0.09533333 | 0.0100186900  | 1    |  |
| 133 | 0.08597321 | 0.06652517 | 0.11110673 | 0.09419718 | 0.0082239709  | 1    |  |
| 120 | 0.05417847 | 0.04072887 | 0.07206944 | 0.03979592 | -0.0143825536 | -1   |  |
| 73  | 0.14735172 | 0.11444620 | 0.18971822 | 0.15763021 | 0.0102784894  | 1    |  |
| 129 | 0.07462210 | 0.05785792 | 0.09624366 | 0.07382812 | -0.0007939787 | 1    |  |
| 100 | 0.14966133 | 0.11359166 | 0.19718449 | 0.15579446 | 0.0061331292  | 1    |  |
| 42  | 0.44045583 | 0.33210580 | 0.58415523 | 0.42660937 | -0.0138464621 | 1    |  |
| 88  | 0.16630501 | 0.12904404 | 0.21432496 | 0.14671429 | -0.0195907284 | 1    |  |
| 143 | 0.14621857 | 0.11442861 | 0.18684024 | 0.12169014 | -0.0245284232 | 1    |  |
| 2   | 0.42258131 | 0.32794392 | 0.54452895 | 0.39878732 | -0.0237939853 | 1    |  |
| 34  | 0.47298363 | 0.36922422 | 0.60590152 | 0.42920885 | -0.0437747768 | 1    |  |
| 121 | 0.08303836 | 0.06416228 | 0.10746764 | 0.07812500 | -0.0049133575 | 1    |  |
| 66  | 0.19701831 | 0.15394641 | 0.25214109 | 0.20625000 | 0.0092316850  | 1    |  |
| 64  | 0.13350838 | 0.10449091 | 0.17058411 | 0.12100000 | -0.0125083806 | 1    |  |
| 152 | 0.09983522 | 0.07827498 | 0.12733407 | 0.10383725 | 0.0040020269  | 1    |  |
| 157 | 0.07540293 | 0.05908840 | 0.09622195 | 0.07636933 | 0.0009664005  | 1    |  |
| 107 | 0.06130641 | 0.04777961 | 0.07866276 | 0.06382042 | 0.0025140130  | 1    |  |
| 23  | 0.38888160 | 0.30495739 | 0.49590172 | 0.43549296 | 0.0466113597  | 1    |  |
| [1] | 0.95       |            |            |            |               |      |  |



Call:  
`lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + h.lum + lnAmplada +  
 Tipus + Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +  
 Ocupacio:h.lum + Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data =  
 dades3)`

Residuals:

| Min       | 1Q        | Median   | 3Q       | Max      |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| -0.273972 | -0.066903 | 0.009818 | 0.060576 | 0.299477 |

Coefficients:

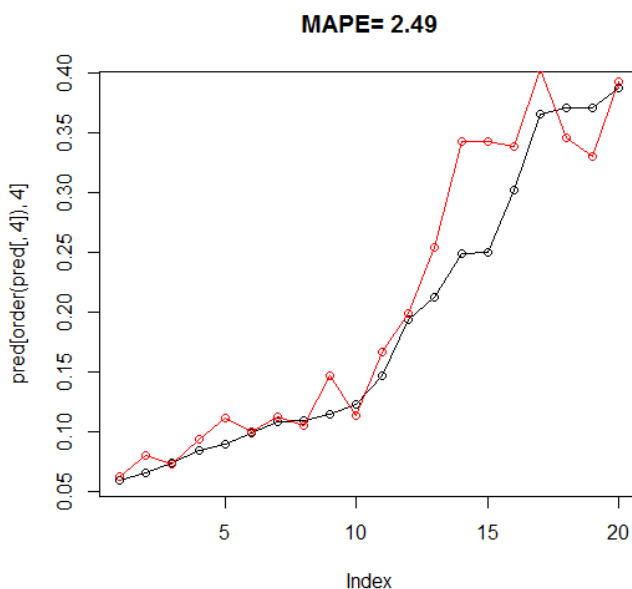
|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.32063 | 0.24750    | -1.295  | 0.197192 |     |
| ln.h.lum                      | -0.49425 | 0.21872    | -2.260  | 0.025309 | *   |
| Ocupacio50                    | 0.05974  | 0.30361    | 0.197   | 0.844279 |     |
| Ocupacio100                   | -0.17676 | 0.20667    | -0.855  | 0.393786 |     |
| h.lum                         | -0.02781 | 0.03673    | -0.757  | 0.450105 |     |
| lnAmplada                     | 0.18356  | 0.05308    | 3.458   | 0.000712 | *** |
| TipusB                        | -0.27866 | 0.38174    | -0.730  | 0.466572 |     |
| TipusC                        | -1.80514 | 0.17360    | -10.398 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.65160 | 0.21788    | -7.580  | 3.58e-12 | *** |
| TipusE                        | -2.68995 | 0.17503    | -15.369 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -2.07997 | 0.17243    | -12.063 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.08762 | 0.05271    | -1.662  | 0.098574 | .   |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.31019 | 0.09169    | -3.383  | 0.000919 | *** |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.64865 | 0.04687    | -13.840 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.45459 | 0.19370    | -2.347  | 0.020268 | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.70194  | 0.37724    | 1.861   | 0.064782 | .   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.72746  | 0.27510    | 6.279   | 3.63e-09 | *** |
| Ocupacio50:h.lum              | 0.12481  | 0.02044    | 6.107   | 8.63e-09 | *** |
| Ocupacio100:h.lum             | 0.25971  | 0.01600    | 16.231  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.19597 | 0.06349    | -3.087  | 0.002419 | **  |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.20876 | 0.04311    | -4.842  | 3.22e-06 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | 0.05277  | 0.12470    | 0.423   | 0.672773 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.76462  | 0.07293    | 10.485  | < 2e-16  | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.22239  | 0.08298    | 2.680   | 0.008198 | **  |
| lnAmplada:TipusE              | 0.48848  | 0.06559    | 7.447   | 7.47e-12 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.27300  | 0.06559    | 4.162   | 5.34e-05 | *** |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1163 on 147 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9764, Adjusted R-squared: 0.9724  
 F-statistic: 243.6 on 25 and 147 DF, p-value: < 2.2e-16

```
[1] 0.02488731
      fit      lwr      upr      valor      ErrorAbs fora
149 0.09982450 0.07855555 0.12685202 0.09915493 -0.0006695693 1
82  0.11363453 0.08888464 0.14527602 0.12244898 0.0088144504 1
175 0.09392702 0.07345173 0.12010998 0.08448000 -0.0094470217 1
145 0.11272494 0.08805658 0.14430395 0.10779343 -0.0049315105 1
49  0.34583054 0.26045300 0.45919517 0.37059859 0.0247680575 1
60  0.19911820 0.15662503 0.25313998 0.19366197 -0.0054562273 1
12  0.33835133 0.26481605 0.43230620 0.30223880 -0.0361125275 1
8   0.39258328 0.29674231 0.51937868 0.38770988 -0.0048733941 1
11  0.40297074 0.31252057 0.51959915 0.36562499 -0.0373457521 1
114 0.10564202 0.08193884 0.13620203 0.10904490 0.0034028772 1
174 0.08029678 0.06214923 0.10374341 0.06551111 -0.0147856682 1
190 0.14703493 0.11566352 0.18691520 0.11428571 -0.0327492113 -1
57  0.11150665 0.08744784 0.14218457 0.08908451 -0.0224221486 1
38  0.33007068 0.25595530 0.42564719 0.37109375 0.0410230681 1
129 0.07307647 0.05697763 0.09372398 0.07382812 0.0007516564 1
88  0.16635286 0.12987004 0.21308437 0.14671429 -0.0196385780 1
127 0.06240722 0.04798976 0.08115609 0.05931123 -0.0030959940 1
14  0.34273418 0.26316907 0.44635458 0.24934701 -0.0933871735 -1
75  0.25381514 0.19196403 0.33559478 0.21291814 -0.0408969997 1
41  0.34273418 0.26316907 0.44635458 0.24955986 -0.0931743197 -1
[1] 0.85
```



```
Call:
lm(formula = LnEFS ~ Ocupacio + h.lum + Longitud + lnAmplada +
    Tipus + Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    Ocupacio:h.lum + Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data =
dades3)
```

```
Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.305723 -0.064554 -0.003452  0.059537  0.315551
```

Coefficients:

|                               | Estimate  | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|-----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.836361 | 0.194089   | -4.309  | 2.98e-05 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.112329 | 0.295744   | -0.380  | 0.70463  |     |
| Ocupacio100                   | -0.295035 | 0.205506   | -1.436  | 0.15323  |     |
| h.lum                         | -0.119392 | 0.014124   | -8.453  | 2.57e-14 | *** |
| Longitud                      | 0.007200  | 0.003067   | 2.348   | 0.02022  | *   |
| lnAmplada                     | 0.238936  | 0.050253   | 4.755   | 4.70e-06 | *** |
| TipusB                        | -0.171276 | 0.374521   | -0.457  | 0.64812  |     |
| TipusC                        | -1.734483 | 0.159467   | -10.877 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.503891 | 0.205625   | -7.314  | 1.55e-11 | *** |
| TipusE                        | -2.592056 | 0.165647   | -15.648 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.954446 | 0.161610   | -12.094 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.092381 | 0.054941   | -1.681  | 0.09480  | .   |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.281318 | 0.089627   | -3.139  | 0.00205  | **  |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.615641 | 0.045683   | -13.476 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.598934 | 0.183142   | -3.270  | 0.00134  | **  |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.672810  | 0.318264   | 2.114   | 0.03620  | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.475301  | 0.253529   | 5.819   | 3.57e-08 | *** |
| Ocupacio50:h.lum              | 0.118628  | 0.019204   | 6.177   | 6.07e-09 | *** |
| Ocupacio100:h.lum             | 0.260290  | 0.015522   | 16.769  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.162626 | 0.062097   | -2.619  | 0.00975  | **  |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.184912 | 0.042742   | -4.326  | 2.79e-05 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | 0.004081  | 0.122502   | 0.033   | 0.97347  |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.725326  | 0.069721   | 10.403  | < 2e-16  | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.165494  | 0.078370   | 2.112   | 0.03640  | *   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.428316  | 0.062961   | 6.803   | 2.41e-10 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.205408  | 0.061492   | 3.340   | 0.00106  | **  |

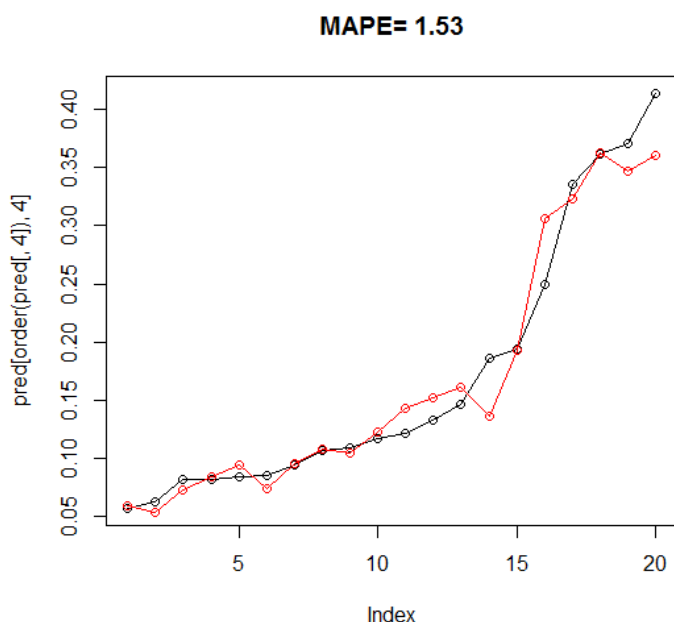
---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1182 on 147 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9758, Adjusted R-squared: 0.9717  
 F-statistic: 237.4 on 25 and 147 DF, p-value: < 2.2e-16

[1] 0.01531101

|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs      | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| 151 | 0.08410579 | 0.06530795 | 0.10831429 | 0.08235368 | -0.0017521162 | 1    |
| 49  | 0.34631882 | 0.25985423 | 0.46155387 | 0.37059859 | 0.0242797779  | 1    |
| 186 | 0.07274763 | 0.05690144 | 0.09300673 | 0.08171428 | 0.0089666570  | 1    |
| 142 | 0.10816818 | 0.08436369 | 0.13868947 | 0.10654147 | -0.0016267106 | 1    |
| 183 | 0.05429501 | 0.04148780 | 0.07105580 | 0.06250000 | 0.0082049852  | 1    |
| 41  | 0.30608645 | 0.23664783 | 0.39590017 | 0.24955986 | -0.0565265950 | 1    |
| 175 | 0.09503644 | 0.07403536 | 0.12199474 | 0.08448000 | -0.0105564387 | 1    |
| 28  | 0.36067634 | 0.28126406 | 0.46250995 | 0.41376525 | 0.0530889123  | 1    |
| 110 | 0.07427575 | 0.05828425 | 0.09465485 | 0.08516725 | 0.0108915049  | 1    |
| 172 | 0.14278756 | 0.11198925 | 0.18205575 | 0.12160000 | -0.0211875636 | 1    |
| 124 | 0.12245419 | 0.09539079 | 0.15719578 | 0.11734694 | -0.0051072540 | 1    |
| 91  | 0.15202481 | 0.11936924 | 0.19361389 | 0.13303571 | -0.0189890957 | 1    |
| 67  | 0.13679575 | 0.10685705 | 0.17512254 | 0.18562500 | 0.0488292460  | -1   |
| 60  | 0.19304963 | 0.15123058 | 0.24643270 | 0.19366197 | 0.0006123429  | 1    |
| 9   | 0.32251880 | 0.25021458 | 0.41571668 | 0.33498133 | 0.0124625361  | 1    |
| 109 | 0.05897165 | 0.04596456 | 0.07565950 | 0.05721831 | -0.0017533471 | 1    |
| 168 | 0.09525357 | 0.07402628 | 0.12256785 | 0.09464889 | -0.0006046759 | 1    |
| 114 | 0.10429794 | 0.08063900 | 0.13489826 | 0.10904490 | 0.0047469556  | 1    |
| 88  | 0.16157080 | 0.12556616 | 0.20789936 | 0.14671429 | -0.0148565172 | 1    |
| 26  | 0.36226607 | 0.28254709 | 0.46447728 | 0.36108920 | -0.0011768687 | 1    |

[1] 0.95



```
Call:
lm(formula = lnEFS ~ lnh.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
    Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    lnh.lum:Ocupacio +
    ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.257071 -0.067290  0.003738  0.074513  0.301850
```

```
Coefficients:
              Estimate std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -0.46689    0.20219   -2.309  0.022317 *
lnh.lum       -0.62502    0.08233  -7.592  3.28e-12 ***
Ocupacio50    -0.43792    0.30909   -1.417  0.158642
Ocupacio100  -0.98383    0.20420  -4.818  3.55e-06 ***
lnAmplada      0.25667    0.05073   5.059  1.23e-06 ***
TipusB         0.05925    0.32304   0.183  0.854725
TipusC        -1.58230    0.15196 -10.413 < 2e-16 ***
TipusD        -1.35658    0.19938  -6.804  2.35e-10 ***
TipusE        -2.46607    0.16735 -14.736 < 2e-16 ***
TipusF        -1.86303    0.16072 -11.592 < 2e-16 ***
Ocupacio0:lnAlcada.Edificis -0.09216    0.05222  -1.765  0.079674 .
Ocupacio50:lnAlcada.Edificis -0.29303    0.08360  -3.505  0.000604 ***
Ocupacio100:lnAlcada.Edificis -0.60827    0.04338 -14.021 < 2e-16 ***
Ocupacio0:lnReflectivitat -0.35829    0.16782  -2.135  0.034405 *
Ocupacio50:lnReflectivitat  0.78852    0.31390   2.512  0.013077 *
Ocupacio100:lnReflectivitat  1.60212    0.23247   6.892  1.48e-10 ***
lnh.lum:ocupacio50  0.61391    0.09020   6.806  2.33e-10 ***
lnh.lum:ocupacio100  1.26396    0.07220  17.507 < 2e-16 ***
Ocupacio50:lnAmplada -0.15131    0.06171  -2.452  0.015377 *
Ocupacio100:lnAmplada -0.17451    0.04158  -4.197  4.65e-05 ***
lnAmplada:TipusB -0.06683    0.10790  -0.619  0.536607
lnAmplada:TipusC  0.69032    0.06736  10.249 < 2e-16 ***
lnAmplada:TipusD  0.11108    0.07615   1.459  0.146753
lnAmplada:TipusE  0.39713    0.06018   6.599  6.91e-10 ***
lnAmplada:TipusF  0.18230    0.05970   3.054  0.002682 **
```

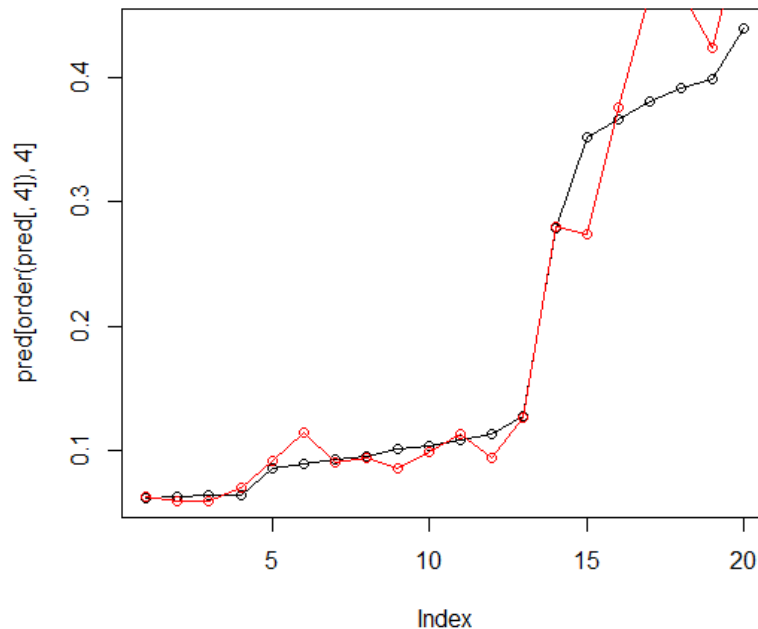
---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1167 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9754, Adjusted R-squared: 0.9714  
 F-statistic: 244.5 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

```
[1] 0.02296166
      fit      lwr      upr      valor      ErrorAbs fora
166 0.09348348 0.07356318 0.11879805 0.11264000 0.0191565124 1
98 0.09179542 0.07236420 0.11644431 0.08537947 -0.0064159547 1
2 0.42431068 0.33075535 0.54432848 0.39878732 -0.0255233626 1
4 0.52188988 0.40851804 0.66672464 0.43955223 -0.0823376470 1
27 0.27961933 0.22035411 0.35482418 0.27830986 -0.0013094672 1
57 0.11446083 0.08986938 0.14578138 0.08908451 -0.0253763272 -1
152 0.09910372 0.07809775 0.12575968 0.10383725 0.0047335263 1
92 0.12650848 0.09940275 0.16100555 0.12723214 0.0007236662 1
147 0.08590683 0.06772585 0.10896848 0.10135837 0.0154515433 1
11 0.37556768 0.29100467 0.48470384 0.36562499 -0.0099426901 1
168 0.09403570 0.07343549 0.12041471 0.09464889 0.0006131876 1
145 0.11343971 0.08853859 0.14534417 0.10779343 -0.0056462807 1
15 0.27371647 0.21205346 0.35331047 0.35181221 0.0780957375 1
107 0.05879381 0.04606966 0.07503230 0.06382042 0.0050266121 1
126 0.05879381 0.04606966 0.07503230 0.06250000 0.0037061900 1
90 0.08997605 0.07029603 0.11516567 0.09285714 0.0028810929 1
176 0.07002590 0.05525546 0.08874466 0.06411111 -0.0059147907 1
130 0.06304917 0.04873810 0.08156244 0.06156250 -0.0014866705 1
17 0.46706912 0.36099506 0.60431177 0.38059468 -0.0864744406 1
69 0.46943317 0.36206997 0.60863237 0.39101563 -0.0784175472 1
[1] 0.95
```

MAPE= 2.3



Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ lnh.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
    Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    lnh.lum:Ocupacio +
    Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:  
 Min 1Q Median 3Q Max  
 -0.287103 -0.065393 0.003214 0.063162 0.265942

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t )     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|--------------|
| (Intercept)                   | -0.36260 | 0.20244    | -1.791  | 0.075318 .   |
| lnh.lum                       | -0.65970 | 0.07536    | -8.755  | 4.30e-15 *** |
| Ocupacio50                    | -0.53887 | 0.29613    | -1.820  | 0.070823 .   |
| Ocupacio100                   | -1.09593 | 0.21672    | -5.057  | 1.24e-06 *** |
| lnAmplada                     | 0.20925  | 0.04925    | 4.249   | 3.79e-05 *** |
| TipusB                        | -0.05692 | 0.35473    | -0.160  | 0.872744 .   |
| TipusC                        | -1.53529 | 0.15777    | -9.731  | < 2e-16 ***  |
| TipusD                        | -1.41640 | 0.19458    | -7.279  | 1.83e-11 *** |
| TipusE                        | -2.51265 | 0.17229    | -14.584 | < 2e-16 ***  |
| TipusF                        | -1.81040 | 0.16033    | -11.291 | < 2e-16 ***  |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.08503 | 0.05442    | -1.562  | 0.120337 .   |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.27633 | 0.08192    | -3.373  | 0.000948 *** |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.61326 | 0.04355    | -14.081 | < 2e-16 ***  |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.22030 | 0.17753    | -1.241  | 0.216593 .   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.83215  | 0.30952    | 2.688   | 0.008001 **  |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.74433  | 0.23738    | 7.348   | 1.25e-11 *** |
| lnh.lum:Ocupacio50            | 0.62307  | 0.08496    | 7.334   | 1.36e-11 *** |
| lnh.lum:Ocupacio100           | 1.28979  | 0.07263    | 17.758  | < 2e-16 ***  |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.11677 | 0.06261    | -1.865  | 0.064135 .   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.14105 | 0.04695    | -3.004  | 0.003130 **  |
| lnAmplada:TipusB              | -0.01597 | 0.12048    | -0.133  | 0.894734 .   |
| lnAmplada:TipusC              | 0.66568  | 0.07397    | 9.000   | 1.02e-15 *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.14133  | 0.07414    | 1.906   | 0.058571 .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.42945  | 0.06500    | 6.607   | 6.62e-10 *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.17023  | 0.06015    | 2.830   | 0.005301 **  |

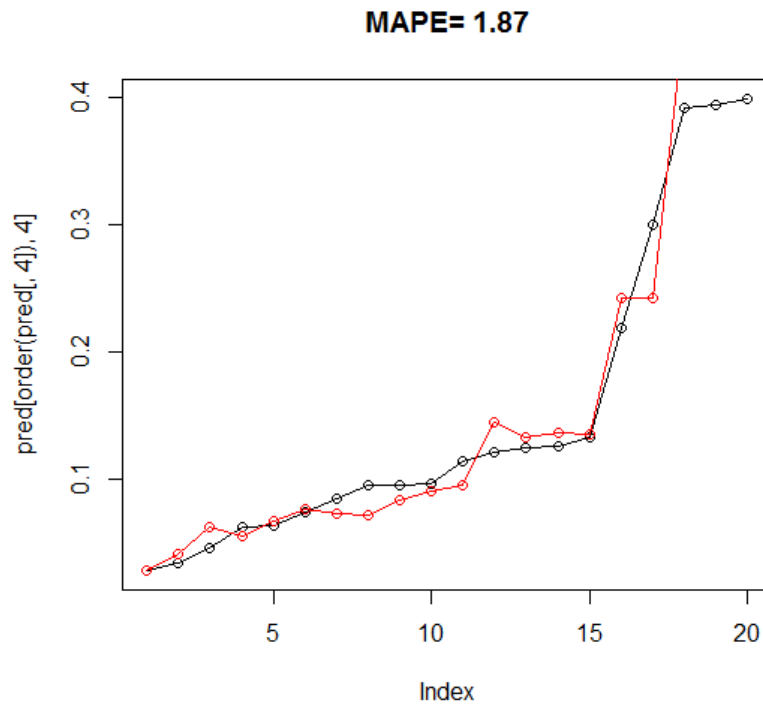
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1157 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9752, Adjusted R-squared: 0.9712  
 F-statistic: 242.4 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

[1] 0.01867032

|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs     | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|--------------|------|
| 56  | 0.04131283 | 0.03097013 | 0.05510957 | 0.03389085 | -0.007421990 | 1    |
| 117 | 0.07655444 | 0.05977003 | 0.09805220 | 0.07394366 | -0.002610781 | 1    |
| 184 | 0.07203865 | 0.05416927 | 0.09580280 | 0.09513889 | 0.023100239  | 1    |
| 116 | 0.09014912 | 0.07026165 | 0.11566573 | 0.09705106 | 0.006901932  | 1    |
| 97  | 0.13476607 | 0.10621341 | 0.17099434 | 0.13267299 | -0.002093074 | 1    |
| 167 | 0.08373328 | 0.06604416 | 0.10616021 | 0.09543111 | 0.011697834  | 1    |
| 118 | 0.02790761 | 0.02061362 | 0.03778253 | 0.02838908 | 0.000481470  | 1    |
| 159 | 0.06219911 | 0.04799462 | 0.08060756 | 0.04654773 | -0.015651381 | -1   |
| 46  | 0.44327258 | 0.33132543 | 0.59304406 | 0.39359596 | -0.049676616 | 1    |
| 39  | 0.24269279 | 0.19030065 | 0.30950912 | 0.30039613 | 0.057703342  | 1    |
| 110 | 0.07306993 | 0.05760494 | 0.09268675 | 0.08516725 | 0.012097322  | 1    |
| 69  | 0.46033114 | 0.35342949 | 0.59956730 | 0.39101563 | -0.069315519 | 1    |
| 135 | 0.06721440 | 0.05304388 | 0.08517052 | 0.06334898 | -0.003865416 | 1    |
| 68  | 0.24185257 | 0.18935617 | 0.30890289 | 0.21875000 | -0.023102572 | 1    |
| 140 | 0.09546687 | 0.07526732 | 0.12108739 | 0.11457903 | 0.019112154  | 1    |
| 183 | 0.05537722 | 0.04230372 | 0.07249093 | 0.06250000 | 0.007122784  | 1    |
| 172 | 0.14415157 | 0.11365652 | 0.18282871 | 0.12160000 | -0.022551570 | 1    |
| 102 | 0.13245940 | 0.10438364 | 0.16808663 | 0.12444196 | -0.008017440 | 1    |
| 2   | 0.41906780 | 0.32773833 | 0.53584767 | 0.39878732 | -0.020280475 | 1    |
| 55  | 0.13648287 | 0.10748579 | 0.17330266 | 0.12588028 | -0.010602586 | 1    |

[1] 0.95



Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
    Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
    ln.h.lum:Ocupacio +
    Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:

| Min      | 1Q       | Median   | 3Q      | Max     |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| -0.25886 | -0.06539 | -0.00057 | 0.06777 | 0.32397 |

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.49225 | 0.21305    | -2.310  | 0.022244 | *   |
| ln.h.lum                      | -0.57855 | 0.07764    | -7.451  | 7.12e-12 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.37938 | 0.31109    | -1.220  | 0.224585 |     |
| Ocupacio100                   | -0.98176 | 0.22132    | -4.436  | 1.78e-05 | *** |
| lnAmplada                     | 0.23771  | 0.05299    | 4.486   | 1.45e-05 | *** |
| TipusB                        | 0.03215  | 0.33556    | 0.096   | 0.923800 |     |
| TipusC                        | -1.61012 | 0.15521    | -10.374 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.38101 | 0.20194    | -6.839  | 1.96e-10 | *** |
| TipusE                        | -2.54500 | 0.18406    | -13.827 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.89323 | 0.16501    | -11.474 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.07991 | 0.05518    | -1.448  | 0.149687 |     |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.30480 | 0.08783    | -3.470  | 0.000682 | *** |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.63010 | 0.04515    | -13.956 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.35821 | 0.17916    | -1.999  | 0.047392 | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.61275  | 0.33787    | 1.814   | 0.071769 | .   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.59664  | 0.24207    | 6.596   | 7.02e-10 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio50           | 0.63931  | 0.08833    | 7.237   | 2.30e-11 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio100          | 1.29247  | 0.07554    | 17.110  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.14657 | 0.06747    | -2.172  | 0.031411 | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.16058 | 0.04685    | -3.427  | 0.000790 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | -0.05605 | 0.11162    | -0.502  | 0.616290 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.67647  | 0.06831    | 9.903   | < 2e-16  | *** |

|                  |         |         |       |              |
|------------------|---------|---------|-------|--------------|
| lnAmplada:TipusD | 0.11481 | 0.07724 | 1.486 | 0.139275     |
| lnAmplada:TipusE | 0.40901 | 0.06739 | 6.070 | 1.03e-08 *** |
| lnAmplada:TipusF | 0.17733 | 0.06232 | 2.845 | 0.005066 **  |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

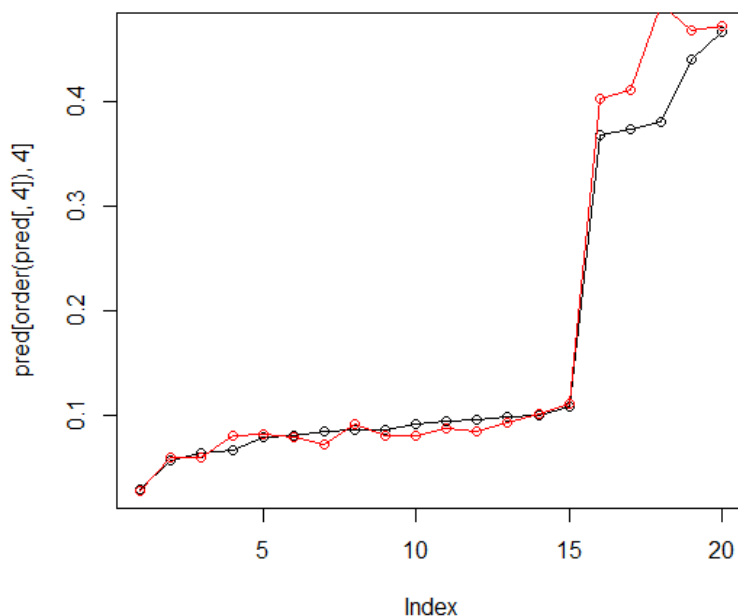
Residual standard error: 0.1201 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9732, Adjusted R-squared: 0.9689  
 F-statistic: 224 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

[1] 0.0156362

|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs     | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|--------------|------|
| 107 | 0.05832900 | 0.04522559 | 0.07522890 | 0.06382042 | 0.005491426  | 1    |
| 98  | 0.09096307 | 0.07123127 | 0.11616078 | 0.08537947 | -0.005583601 | 1    |
| 17  | 0.49355645 | 0.37989426 | 0.64122571 | 0.38059468 | -0.112961768 | 1    |
| 128 | 0.05841112 | 0.04538552 | 0.07517506 | 0.05612245 | -0.002288670 | 1    |
| 133 | 0.08695426 | 0.06680498 | 0.11318083 | 0.09419718 | 0.007242926  | 1    |
| 149 | 0.10051323 | 0.07853569 | 0.12864099 | 0.09915493 | -0.001358302 | 1    |
| 174 | 0.07965443 | 0.06135516 | 0.10341148 | 0.06551111 | -0.014143317 | 1    |
| 35  | 0.47344633 | 0.36856290 | 0.60817687 | 0.46755613 | -0.005890198 | 1    |
| 51  | 0.40280763 | 0.31179256 | 0.52039084 | 0.36826172 | -0.034545918 | 1    |
| 141 | 0.08020057 | 0.06262973 | 0.10270094 | 0.09139280 | 0.011192226  | 1    |
| 7   | 0.46930861 | 0.36345472 | 0.60599177 | 0.44043843 | -0.028870181 | 1    |
| 121 | 0.08144270 | 0.06292217 | 0.10541457 | 0.07812500 | -0.003317703 | 1    |
| 145 | 0.11120550 | 0.08622850 | 0.14341734 | 0.10779343 | -0.003412067 | 1    |
| 118 | 0.02697482 | 0.01966288 | 0.03700580 | 0.02838908 | 0.001414269  | 1    |
| 167 | 0.08456309 | 0.06617080 | 0.10806756 | 0.09543111 | 0.010868020  | 1    |
| 154 | 0.07218050 | 0.05625245 | 0.09261862 | 0.08428169 | 0.012101195  | 1    |
| 122 | 0.09200333 | 0.07152001 | 0.11835306 | 0.09795919 | 0.005955860  | 1    |
| 33  | 0.41226365 | 0.32172780 | 0.52827676 | 0.37411972 | -0.038143934 | 1    |
| 188 | 0.08020057 | 0.06262973 | 0.10270094 | 0.08571428 | 0.005513710  | 1    |
| 139 | 0.07799689 | 0.05969869 | 0.10190365 | 0.08042566 | 0.002428776  | 1    |

[1] 1

MAPE= 1.56



Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +
  Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +
  ln.h.lum:Ocupacio +
  Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:

| Min       | 1Q        | Median   | 3Q       | Max      |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| -0.296795 | -0.068769 | 0.004382 | 0.063844 | 0.278349 |

Coefficients:

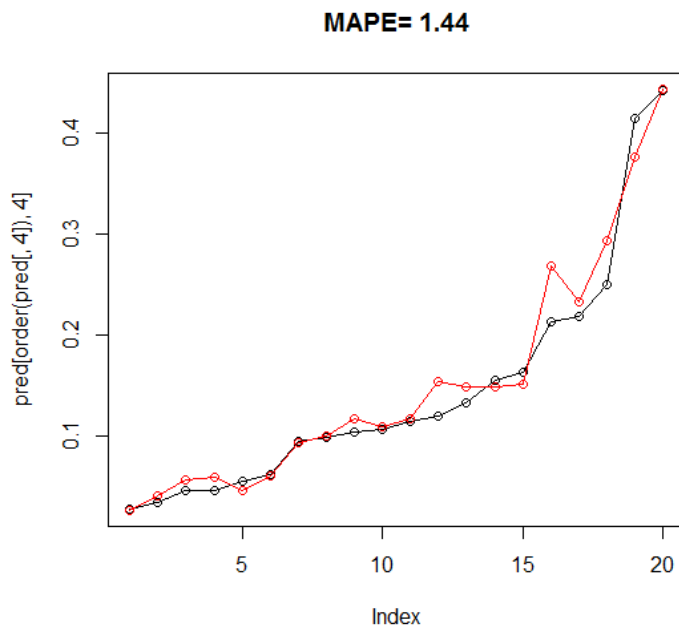
|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.36868 | 0.20677    | -1.783  | 0.07663  | .   |
| ln.h.lum                      | -0.59374 | 0.07587    | -7.826  | 8.86e-13 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.51890 | 0.33038    | -1.571  | 0.11841  |     |
| Ocupacio100                   | -1.06877 | 0.21943    | -4.871  | 2.83e-06 | *** |
| lnAmplada                     | 0.20625  | 0.05079    | 4.061   | 7.91e-05 | *** |
| TipusB                        | 0.07105  | 0.32660    | 0.218   | 0.82808  |     |
| TipusC                        | -1.52203 | 0.16421    | -9.269  | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.43442 | 0.20153    | -7.118  | 4.41e-11 | *** |
| TipusE                        | -2.60038 | 0.19328    | -13.454 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.89522 | 0.16108    | -11.766 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.11024 | 0.05374    | -2.052  | 0.04198  | *   |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.26463 | 0.09432    | -2.806  | 0.00569  | **  |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.63648 | 0.04726    | -13.469 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.28746 | 0.17232    | -1.668  | 0.09740  | .   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.80426  | 0.32021    | 2.512   | 0.01309  | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.89049  | 0.26202    | 7.215   | 2.60e-11 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio50           | 0.56655  | 0.08697    | 6.515   | 1.07e-09 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio100          | 1.22598  | 0.07380    | 16.613  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.12762 | 0.06219    | -2.052  | 0.04193  | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.13986 | 0.04561    | -3.067  | 0.00257  | **  |
| lnAmplada:TipusB              | -0.06319 | 0.10881    | -0.581  | 0.56230  |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.63460  | 0.07387    | 8.590   | 1.12e-14 | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.14641  | 0.07660    | 1.911   | 0.05790  | .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.45467  | 0.07163    | 6.348   | 2.52e-09 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.20111  | 0.06120    | 3.286   | 0.00127  | **  |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1166 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9748, Adjusted R-squared: 0.9707  
 F-statistic: 238.4 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

| [1] | 0.01438989 | fit        | lwr        | upr        | valor         | ErrorAbs | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|----------|------|
| 100 | 0.14919429 | 0.11373222 | 0.19571356 | 0.15579446 | 0.0066001667  |          | 1    |
| 132 | 0.06010053 | 0.04708193 | 0.07671890 | 0.04737402 | -0.0127265102 |          | 1    |
| 41  | 0.29336443 | 0.22723996 | 0.37873043 | 0.24955986 | -0.0438045668 |          | 1    |
| 118 | 0.02741292 | 0.01998614 | 0.03759947 | 0.02838908 | 0.0009761626  |          | 1    |
| 28  | 0.37550986 | 0.29461245 | 0.47862084 | 0.41376525 | 0.0382553929  |          | 1    |
| 178 | 0.11794124 | 0.09304597 | 0.14949747 | 0.10400000 | -0.0139412448 |          | 1    |
| 183 | 0.06070608 | 0.04684074 | 0.07867569 | 0.06250000 | 0.0017939244  |          | 1    |
| 91  | 0.14864946 | 0.11722478 | 0.18849822 | 0.13303571 | -0.0156137536 |          | 1    |
| 168 | 0.09427998 | 0.07363010 | 0.12072120 | 0.09464889 | 0.0003689113  |          | 1    |
| 68  | 0.23344770 | 0.18295859 | 0.29786975 | 0.21875000 | -0.0146977015 |          | 1    |
| 149 | 0.10059126 | 0.07910930 | 0.12790660 | 0.09915493 | -0.0014363303 |          | 1    |
| 101 | 0.15108705 | 0.11792863 | 0.19356874 | 0.16399417 | 0.0129071201  |          | 1    |
| 142 | 0.10949957 | 0.08572175 | 0.13987298 | 0.10654147 | -0.0029581020 |          | 1    |
| 63  | 0.04206253 | 0.03164385 | 0.05591155 | 0.03437500 | -0.0076875337 |          | 1    |
| 37  | 0.44316071 | 0.34749302 | 0.56516651 | 0.44179137 | -0.0013693375 |          | 1    |
| 138 | 0.05778323 | 0.04536436 | 0.07360186 | 0.04627230 | -0.0115109301 |          | 1    |
| 119 | 0.04618537 | 0.03457223 | 0.06169947 | 0.05545775 | 0.0092723732  |          | 1    |
| 75  | 0.26873185 | 0.20362339 | 0.35465872 | 0.21291814 | -0.0558137102 |          | 1    |
| 146 | 0.15404784 | 0.12084665 | 0.19637066 | 0.12018780 | -0.0338600424 |          | -1   |
| 103 | 0.11743827 | 0.09150042 | 0.15072879 | 0.11523437 | -0.0022038977 |          | 1    |

[1] 0.95



Call:

```
lm(formula = LnEFS ~ Ocupacio + h.lum + lnAmplada + Tipus +
Ocupacio:lnAlcada.Edificis +
ocupacio:lnReflectivitat + Ocupacio:h.lum + Ocupacio:lnAmplada +
lnAmplada:Tipus, data = dades3)
```

Residuals:

| Min      | 1Q       | Median   | 3Q      | Max     |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| -0.27593 | -0.06749 | -0.00491 | 0.06139 | 0.29559 |

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.85556 | 0.18771    | -4.558  | 1.07e-05 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.13673 | 0.30144    | -0.454  | 0.650786 |     |
| Ocupacio100                   | -0.40780 | 0.19808    | -2.059  | 0.041274 | *   |
| h.lum                         | -0.09444 | 0.01253    | -7.538  | 4.42e-12 | *** |
| lnAmplada                     | 0.23763  | 0.04851    | 4.899   | 2.50e-06 | *** |
| TipusB                        | -0.01364 | 0.31695    | -0.043  | 0.965743 |     |
| TipusC                        | -1.58502 | 0.14484    | -10.943 | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.34718 | 0.19125    | -7.044  | 6.54e-11 | *** |
| TipusE                        | -2.54301 | 0.15258    | -16.667 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -2.01734 | 0.15924    | -12.669 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.07933 | 0.05647    | -1.405  | 0.162201 |     |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.27517 | 0.09338    | -2.947  | 0.003734 | **  |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.59454 | 0.04300    | -13.828 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.48027 | 0.18187    | -2.641  | 0.009160 | **  |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.81137  | 0.31303    | 2.592   | 0.010498 | *   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.44405  | 0.22907    | 6.304   | 3.16e-09 | *** |
| Ocupacio50:h.lum              | 0.11794  | 0.01788    | 6.598   | 6.95e-10 | *** |
| Ocupacio100:h.lum             | 0.25927  | 0.01495    | 17.337  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.15078 | 0.05982    | -2.521  | 0.012771 | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.13525 | 0.04204    | -3.217  | 0.001592 | **  |
| lnAmplada:TipusB              | -0.04244 | 0.10583    | -0.401  | 0.688995 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.67889  | 0.06388    | 10.628  | < 2e-16  | *** |

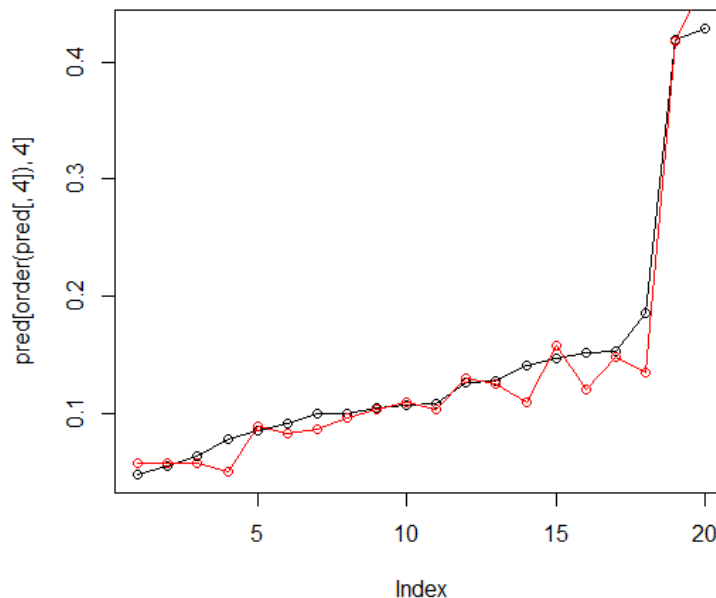
|                  |         |         |       |          |     |
|------------------|---------|---------|-------|----------|-----|
| lnAmplada:TipusD | 0.10337 | 0.07306 | 1.415 | 0.159205 |     |
| lnAmplada:TipusE | 0.39636 | 0.05857 | 6.767 | 2.86e-10 | *** |
| lnAmplada:TipusF | 0.20885 | 0.05994 | 3.484 | 0.000649 | *** |

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1144 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9774, Adjusted R-squared: 0.9737  
 F-statistic: 266.3 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

```
[1] 0.0129129
      fit      lwr      upr      valor      ErrorAbs  fora
141 0.08223870 0.06499036 0.10406471 0.09139280 0.0091541013 1
113 0.09572361 0.07524693 0.12177253 0.09925176 0.0035281546 1
161 0.08619973 0.06803268 0.10921801 0.09915493 0.0129552006 1
153 0.05651876 0.04430786 0.07209489 0.05508607 -0.0014326896 1
71 0.15789913 0.12357181 0.20176233 0.14666463 -0.0112344961 1
92 0.12520911 0.09876019 0.15874131 0.12723214 0.0020230315 1
183 0.05658144 0.04364483 0.07335253 0.06250000 0.0059185645 1
32 0.41809099 0.32968227 0.53020769 0.41985585 0.0017648674 1
152 0.10348203 0.08180816 0.13089806 0.10383725 0.0003552223 1
72 0.14798281 0.11329243 0.19329547 0.15214742 0.0041646096 1
175 0.08869202 0.06962282 0.11298415 0.08448000 -0.0042120221 1
34 0.46909007 0.36991546 0.59485347 0.42920885 -0.0398812175 1
134 0.10905084 0.08589483 0.13844939 0.14102035 0.0319695047 -1
55 0.12982200 0.10266869 0.16415669 0.12588028 -0.0039417199 1
67 0.13509534 0.10638988 0.17154594 0.18562500 0.0505296572 -1
132 0.05725782 0.04509067 0.07270812 0.04737402 -0.0098837987 1
123 0.10338816 0.08058740 0.13263998 0.10765306 0.0042649020 1
160 0.04917631 0.03807994 0.06350612 0.07712050 0.0279441912 -1
137 0.12041280 0.09526566 0.15219799 0.15148670 0.0310739010 1
142 0.10856756 0.08540714 0.13800854 0.10654147 -0.0020260878 1
[1] 0.85
```

MAPE= 1.29



call:  
 lm(formula = LnEFS ~ ln.h.lum + Ocupacio + lnAmplada + Tipus +

Ocupacio:lnAlcada.Edificis + Ocupacio:lnReflectivitat +  
 ln.h.lum:Ocupacio +  
 Ocupacio:lnAmplada + lnAmplada:Tipus, data = dades3)

Residuals:  
 Min 1Q Median 3Q Max  
 -0.295064 -0.067808 -0.001371 0.068358 0.262852

Coefficients:

|                               | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                   | -0.39702 | 0.21918    | -1.811  | 0.072117 | .   |
| ln.h.lum                      | -0.62240 | 0.07658    | -8.127  | 1.61e-13 | *** |
| Ocupacio50                    | -0.37205 | 0.30223    | -1.231  | 0.220273 |     |
| Ocupacio100                   | -1.08537 | 0.21122    | -5.138  | 8.61e-07 | *** |
| lnAmplada                     | 0.22678  | 0.04884    | 4.644   | 7.49e-06 | *** |
| TipusB                        | -0.06394 | 0.40456    | -0.158  | 0.874641 |     |
| TipusC                        | -1.50146 | 0.15458    | -9.713  | < 2e-16  | *** |
| TipusD                        | -1.45351 | 0.19580    | -7.424  | 8.30e-12 | *** |
| TipusE                        | -2.47520 | 0.15594    | -15.873 | < 2e-16  | *** |
| TipusF                        | -1.82969 | 0.15880    | -11.522 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnAlcada.Edificis   | -0.07952 | 0.05289    | -1.503  | 0.134847 |     |
| Ocupacio50:lnAlcada.Edificis  | -0.30173 | 0.08655    | -3.486  | 0.000645 | *** |
| Ocupacio100:lnAlcada.Edificis | -0.56242 | 0.04804    | -11.707 | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio0:lnReflectivitat     | -0.39987 | 0.18761    | -2.131  | 0.034709 | *   |
| Ocupacio50:lnReflectivitat    | 0.56891  | 0.33060    | 1.721   | 0.087368 | .   |
| Ocupacio100:lnReflectivitat   | 1.65396  | 0.23857    | 6.933   | 1.19e-10 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio50           | 0.60435  | 0.08613    | 7.017   | 7.57e-11 | *** |
| ln.h.lum:Ocupacio100          | 1.22012  | 0.07338    | 16.628  | < 2e-16  | *** |
| Ocupacio50:lnAmplada          | -0.13535 | 0.06204    | -2.182  | 0.030708 | *   |
| Ocupacio100:lnAmplada         | -0.14846 | 0.04200    | -3.535  | 0.000544 | *** |
| lnAmplada:TipusB              | -0.03132 | 0.13452    | -0.233  | 0.816201 |     |
| lnAmplada:TipusC              | 0.62418  | 0.06961    | 8.967   | 1.23e-15 | *** |
| lnAmplada:TipusD              | 0.14485  | 0.07477    | 1.937   | 0.054620 | .   |
| lnAmplada:TipusE              | 0.39845  | 0.05833    | 6.831   | 2.04e-10 | *** |
| lnAmplada:TipusF              | 0.17198  | 0.05933    | 2.899   | 0.004319 | **  |

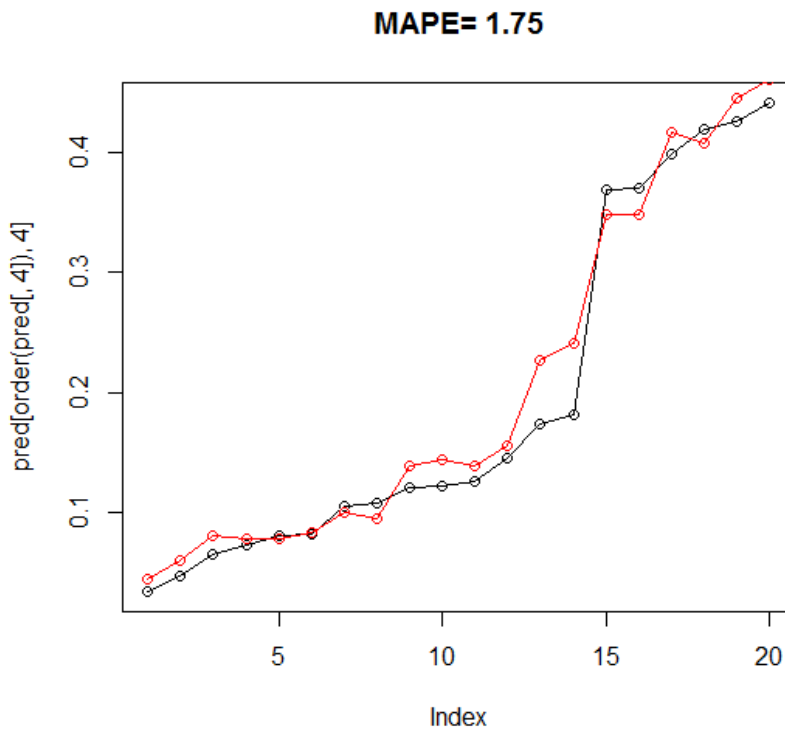
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1157 on 148 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.9753, Adjusted R-squared: 0.9713  
 F-statistic: 243.9 on 24 and 148 DF, p-value: < 2.2e-16

[1] 0.01746415

|     | fit        | lwr        | upr        | valor      | ErrorAbs      | fora |
|-----|------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| 32  | 0.40822884 | 0.32064980 | 0.51972833 | 0.41985585 | 0.0116270153  | 1    |
| 78  | 0.15616472 | 0.12126819 | 0.20110318 | 0.14524648 | -0.0109182414 | 1    |
| 37  | 0.46102809 | 0.36225313 | 0.58673586 | 0.44179137 | -0.0192367191 | 1    |
| 49  | 0.34850837 | 0.26253049 | 0.46264372 | 0.37059859 | 0.0220902270  | 1    |
| 181 | 0.10035308 | 0.07926449 | 0.12705236 | 0.10486667 | 0.0045135865  | 1    |
| 151 | 0.08288322 | 0.06479326 | 0.10602380 | 0.08235368 | -0.0005295369 | 1    |
| 64  | 0.13806811 | 0.10869234 | 0.17538314 | 0.12100000 | -0.0170681085 | 1    |
| 172 | 0.14349912 | 0.11312055 | 0.18203587 | 0.12160000 | -0.0218991212 | 1    |
| 30  | 0.22721242 | 0.17715435 | 0.29141528 | 0.17352112 | -0.0536912972 | -1   |
| 29  | 0.24050131 | 0.18936748 | 0.30544251 | 0.18178404 | -0.0587172693 | -1   |
| 136 | 0.09480649 | 0.07431626 | 0.12094622 | 0.10741784 | 0.0126113475  | 1    |
| 159 | 0.06035708 | 0.04676336 | 0.07790237 | 0.04654773 | -0.0138093454 | -1   |
| 55  | 0.13806811 | 0.10869234 | 0.17538314 | 0.12588028 | -0.0121878294 | 1    |
| 56  | 0.04420789 | 0.03319376 | 0.05887666 | 0.03389085 | -0.0103170433 | 1    |
| 174 | 0.08036188 | 0.06247103 | 0.10337643 | 0.06551111 | -0.0148507727 | 1    |
| 2   | 0.41638773 | 0.32515893 | 0.53321229 | 0.39878732 | -0.0176004055 | 1    |
| 48  | 0.34846537 | 0.26007467 | 0.46689712 | 0.36971832 | 0.0212529545  | 1    |
| 139 | 0.07828307 | 0.06051938 | 0.10126078 | 0.08042566 | 0.0021425931  | 1    |
| 42  | 0.44517784 | 0.33927995 | 0.58412916 | 0.42660937 | -0.0185684705 | 1    |
| 79  | 0.07783856 | 0.06037622 | 0.10035145 | 0.07218750 | -0.0056510607 | 1    |

[1] 0.85



#### B.4. Estadístiques descriptives del cas d'aplicació pràctic

De la mateixa manera que amb les dades del model, s'ha realitzat les estadístiques descriptives de les dades del municipi per determinar si es pot aplicar el model predictiu. Aquestes, per no augmentar el volum del present annex innecessàriament, no s'han inclòs, ja que no cal observar-ne la distribució sinó més aviat observar els valors màxims i mínims dels seus paràmetres per determinar si estan fora del rang de dades del model.

| Alcada.Edificis | Ocupacio      | Reflectivitat  | Amplada        | h.lum          | Tipus |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| Min. : 4.000    | Min. : 0.0    | Min. :0.1650   | Min. : 3.000   | Min. : 3.000   | A: 13 |
| 1st Qu.: 4.000  | 1st Qu.: 50.0 | 1st Qu.:0.3300 | 1st Qu.: 5.000 | 1st Qu.: 7.000 | B: 16 |
| Median : 4.000  | Median : 50.0 | Median :0.3300 | Median : 6.000 | Median : 7.000 | C: 5  |
| Mean : 5.537    | Mean : 58.9   | Mean :0.4453   | Mean : 6.354   | Mean : 7.158   | D: 48 |
| 3rd Qu.: 9.000  | 3rd Qu.:100.0 | 3rd Qu.:0.6600 | 3rd Qu.: 7.500 | 3rd Qu.: 8.000 | E:286 |
| Max. :13.000    | Max. :100.0   | Max. :0.6600   | Max. :12.000   | Max. :10.000   | F: 70 |

S'observa doncs que totes les dades estan dins del rang de les introduïdes per calcular el model i realitzarà bones prediccions per tant.

## C. Bibliografia

- [1] Pàgina web de la “International Dark-Sky Association”, [<http://www.darksky.org/about-us>] visitada el 21 d’Abril del 2014.
- [2] Alfons G. Dolsa y M<sup>a</sup> Teresa Albarrán. 29 de julio de 1998. La problemática de la contaminación lumínica en la conservación de la biodiversidad, sesión de trabajo sobre la contaminación lumínica. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Barcelona, España.
- [3] Pascal Raavel y Florent Lamiot. 1998. Incidences de l’éclairage artificiel des infrastructures routières sur les milieux naturels. Direction environnement, énergie et déchets. France.
- [4] Marianne V. Moore, Stephanie M. Pierce, Hannah M. Walsh, Siri K. Kvalvik y Julie D. Lim Verh. October 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27 1-4 Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany.
- [5] Imatge extreta de: [<http://classwebs.spea.indiana.edu/joneswi/e455/arthropoda.html>], visitada el 21 d’Abril de 2014.
- [6] Leslie M. Frost. Natural Resources Centre (2003). *Simposium ECOLOGY OF THE NIGHT*. Ontario, Canada.
- [7] Brittany L. Bird, Lyn C.Branch, y Deborah L. Miller. 2003. *Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice*. Department of wildlife ecology and conservation. Newswins-ziegler. Florida, Gainesville, U.S.A.
- [8] Travis Longcore y Catherine Rich. 2004. *Ecological light pollution*. *Ecol. Environ*; 2(4): 191–198. The Urban Wildlands Group. The Ecological Society of America. Los Angeles, CA. [<http://www.urbanwildlands.org/Resources/LongcoreRich2004.pdf>]
- [9] RICH, C. & LONGCORE, T. (2006) *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Washington, EUA, Island Press.
- [10] Baker B.J. y Richardson J.M.L. October, 2006. *The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, Rana clamitans melanota*. Canadian Journal of Zoology, Volume 84, Number 10, 1, pp. 1528-1532(5). Canada.
- [11] Vickielly M. Laboy. Marzo de 2007. *El problema de la contaminación lumínica*. Escuela superior Juan a. de Arizmendi quebradillas. Puerto Rico.

- [12] Kohei Narisada y Duco Schreuder. 2004. *Light Pollution Hand Book*. Astrophysics and Space Science Library. Netherlands.
- [13] Pàgina web de la Iniciativa Starlight, [<http://starlight2007.net>], visitada el 21 d'Abril del 2014.
- [14] Héctor Antonio Solano Lamphar (2010). *Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales. Propuesta de un modelo predictivo*. Departament d'Estudis Luminotècnics (EL), Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- [15] Manuel García Gil, Ramón San Martín Páramo, Héctor Solano Lamphar, Pau Francia Payàs; (2012). *Contaminación Lumínica: Una visión desde el foco contaminante: El alumbrado artificial*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- [16] WALKER, M. F. (1970) *Light pollution model*. Publicació de la ASP, 82, 672.
- [17] TREANOR, P. J. (1974) *Artificial night sky brightness in Italy*. Padova, OAN.
- [18] BERRY, R. L. (1976) *Light pollution in Southern Ontario*. The journal of the royal astronomical society of Canada, 70, 3.
- [19] PIKE, R. (1976) *A Simple Computer Model for the Growth of Light Pollution*. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 70, 116-126.
- [20] GARSTANG, R. H. (1986) *Model for artificial night-sky illumination*. Publications of the ASP, 98, 364-375.
- [21] ALBERS, S. & DURISCOE, D. (2001) *Modelling light pollution from population data and implications for national park service lands*. George Wright Forum, 18, 56-68.
- [22] ISOBE, S. & KOSAI, H. (1998) *Star Watching Observations to measure Night Sky Brightness*. IN SYUZO, I. & TOMOHIRO, H. (Eds.) *Preserving The Astronomical Windows*, 23rd General Assembly of the International Astronomical Union. Kyoto, Japan.
- [23] CINZANO, P., FALCHI, F. & ELVIDGE, C. D. (2001) *The first world atlas of the artificial night sky brightness*. Padova, Department of Astronomy, University of Padova.
- [24] CINZANO, P., FALCHI, F. & ELVIDGE, C. D. (2007) *Recent progresses on a second world atlas of the night-sky brightness*. Padova, Dipartimento di astronomia, Università di Padova.

- [25] SHIRKEY, R. C. (2006) *A Model for Nighttime Urban Illumination Nuevo México*, EUA, U.S. Army Research Laboratory, Computational and Information Sciences Directorate, Battlefield Environment Division.
- [26] AUBÉ, M., FRANCHOMME-FOSSÉ, L., ROBERT-STAEHLER, P. & HOULE, V. (2005) *Light Pollution Modelling and detection in a heterogeneous environment: Toward a night time aerosol optical depth retrieval*. IN SPIE (Ed.) SPIE2005.
- [27] Web explicativa del model d'Aubé, [<http://cegesherbrooke.qc.ca/~aubema/index.php/Prof/IllumPhys>], consultada el 21 d'Abril de 2014.
- [28] TAVOOSI, H., DARVISHZADEH, R., SHAKIBA, A. & MIRBAGHERI, B. (2009) *Modelling light pollution in suburbs using remote sensing and gis*. The seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan.
- [29] KOCIFAJ, M. (2007) *Light-pollution model for cloudy and cloudless night skies with ground-based light sources*. Applied optics, 15, 3013-3022.