

TRABAJO FIN DE GRADO. UNIVERSIDAD DE SEVILLA.



ILUMINACION NATURAL EN VIVIENDAS.

GRUPO TFG 3.2 URBANISMO, MATEMATICAS Y FISICA.

AUTOR: ANTONIO OSUNA HENS.

DNI: 44.353.670X    FECHA: 30-06-2016

## **INDICE.**

- 1.0    Introducción. (Pg. 3)
  - 1.1    Objetivos y metodología de trabajo.
  - 1.2    Iluminación y salud.
  - 1.3    Iluminación y ahorro energético.
- 2.0    Normativa sobre iluminación natural. (Pg. 6)
  - 2.1    Antecedentes y evolución de la normativa.
  - 2.2    Normativa internacional (UK, Francia, Alemania, NZ...).
  - 2.3    Sistemas de calificación.
- 3.0    Métodos de cálculo. (Pg. 8)
  - 3.1    Cálculo geométrico.
  - 3.2    Modelos de cielo cubierto.
  - 3.3    Métodos de cálculo basado en datos climáticos.
    - 3.3.1    Daylight Autonomy (DA, CDA, UDA...)
    - 3.3.2    Glare Analysis (SDA + AE).
    - 3.3.3    Programas de cálculo.
    - 3.3.4    Cálculo en la nube.
  - 3.4    Programa Rhinoceros + Diva
- 4.0    Criterios de diseño de patios. (Pg. 18)
- 5.0    Iluminación vs privacidad. (Pg. 40)
- 6.0    Normativa propuesta (CTE DB-HE 6). (Pg. 41)
- 7.0    Casos Prácticos. (Pg. 42)
  - 7.1    Vivienda unifamiliar.
  - 7.2    Edificios de viviendas.
- 8.0    Conclusiones. (Pg. 52)
- 9.0    Bibliografía. (Pg. 53)

## **1.0 Introducción.**

### **1.1 Objetivos y metodología del trabajo.**

El objetivo de este trabajo es analizar el funcionamiento de varias tipologías arquitectónicas desde el punto de vista de la iluminación natural. En el caso de España no existe una ninguna normativa a nivel nacional sobre la iluminación natural en edificios de viviendas y esta falta de legislación provoca algunas deficiencias en el funcionamiento de los edificios.

En la primera parte del trabajo analizo las normativas y los métodos de cálculo que existen en otros países y realizo una serie de pruebas para comprobar el funcionamiento de varios sistemas de cálculo. Una vez que decidido que programa voy a utilizar y que sistema de cálculo es el más apropiado realizo una serie de simulaciones para resolver las dudas que todo el mundo suele plantearse en un principio... ¿Cuál es la mejor orientación para una ventana? ¿Qué diferencias hay entre la iluminación en Andalucía y en Galicia? ¿Cómo funcionan los patios rectangulares? ¿Cómo funcionan los patios abiertos? Etc...

En la parte final del trabajo paso de la teoría a la práctica, planteo una normativa hipotética basada en un método de cálculo moderno (CBDM) y la aplico a una serie de edificios reales. Los resultados obtenidos son muy interesantes y revelan algunos aspectos que no había tenido en cuenta en un principio. El nivel de exigencia de la normativa propuesta es similar al que encontramos en la mayoría de normativas municipales y por lo tanto los edificios analizados obtienen unos resultados más o menos aceptables, pero lo interesante en este caso ha sido comprobar como este sistema de cálculo permite analizar situaciones excepcionales, algo prácticamente imposible con una normativa de tipo descriptiva, en la que nunca se pueden describir todos las situaciones particulares que pueden surgir en un futuro.

### **1.2 Iluminación natural y salud.**

Los avances en la iluminación artificial a principios del siglo XX supusieron una auténtica revolución en el mundo de la arquitectura. La iluminación natural de repente tenía un rival capaz de competir en la iluminación de los edificios y durante muchos años la iluminación natural pasó a un segundo plano.

El problema en este caso es que la luz artificial tiene un espectro completamente distinto al de la luz natural y aunque creamos que no hay diferencias y que si conseguimos un nivel de iluminación de 300 Lux da igual obtenerlos de una lámpara led, de un fluorescente o de una ventana, nuestro cuerpo es capaz de diferenciar las fuentes de iluminación y esto es algo que afecta a nuestra salud (Ciclos Circadianos)

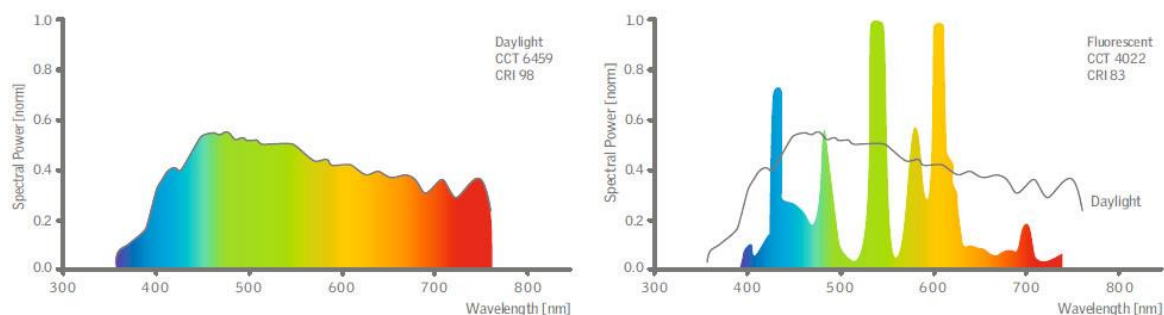


Imagen 1. Espectro de la luz natural vs espectro de una lámpara fluorescente.

Fuente: Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book. Velux

En los últimos años se han realizado muchos estudios y se ha demostrado que la iluminación natural reduce el tiempo de recuperación de los enfermos en los hospitales (Choi et al. 2012). Se ha demostrado que los alumnos que estudian en un aula con iluminación natural obtienen mejores resultados. Se ha demostrado que los trabajadores son más productivos, que las tiendas aumentan sus ventas y lo más importante, que una buena iluminación en las viviendas reduce los índices de depresión, obesidad y enfermedades relacionadas con el estrés (MJ Brown 2011).

La iluminación natural es insustituible y por eso es tan importante crear una normativa que garantice un nivel aceptable en los edificios de viviendas.

## 1.2 Iluminación y ahorro energético

Hasta hace muy pocos años, la iluminación y el ahorro energético eran dos conceptos opuestos entre sí. En una vivienda la iluminación artificial supone aproximadamente un 20% del consumo eléctrico y la diferencia entre una vivienda normal y una con una iluminación natural muy bien conseguida puede suponer un ahorro del 5%. El problema es que para conseguir esta mejora se necesitan unas ventanas de mayor tamaño y estas ventanas funcionan muy mal desde el punto de vista térmico. Se ahorra un poco de energía en iluminación, pero se gasta muchísimo más en calefacción y en climatización, por lo que no salía rentable.

En los últimos años sin embargo hemos presenciado una gran evolución en el diseño de las ventanas. Hemos pasado de ventanas con vidrios simples a ventanas con doble, triple e incluso cuádruple acristalamiento. Cámaras de aire rellenas de argón, tratamientos reflectantes Low-E que bloquean por completo el paso de la iluminación infrarroja, carpinterías con roturas de puente térmico, etc... Hoy en día el rendimiento de una ventana de gama alta es diez veces mayor que el de una ventana sencilla y esto quiere decir que la situación ha dado un giro de 180 grados, hoy en día el ahorro energético conseguido gracias a la iluminación natural es mayor al incremento del gasto que supone ampliar la superficie acristalada y aumentar el tamaño de las ventanas supone un pequeño ahorro energético.

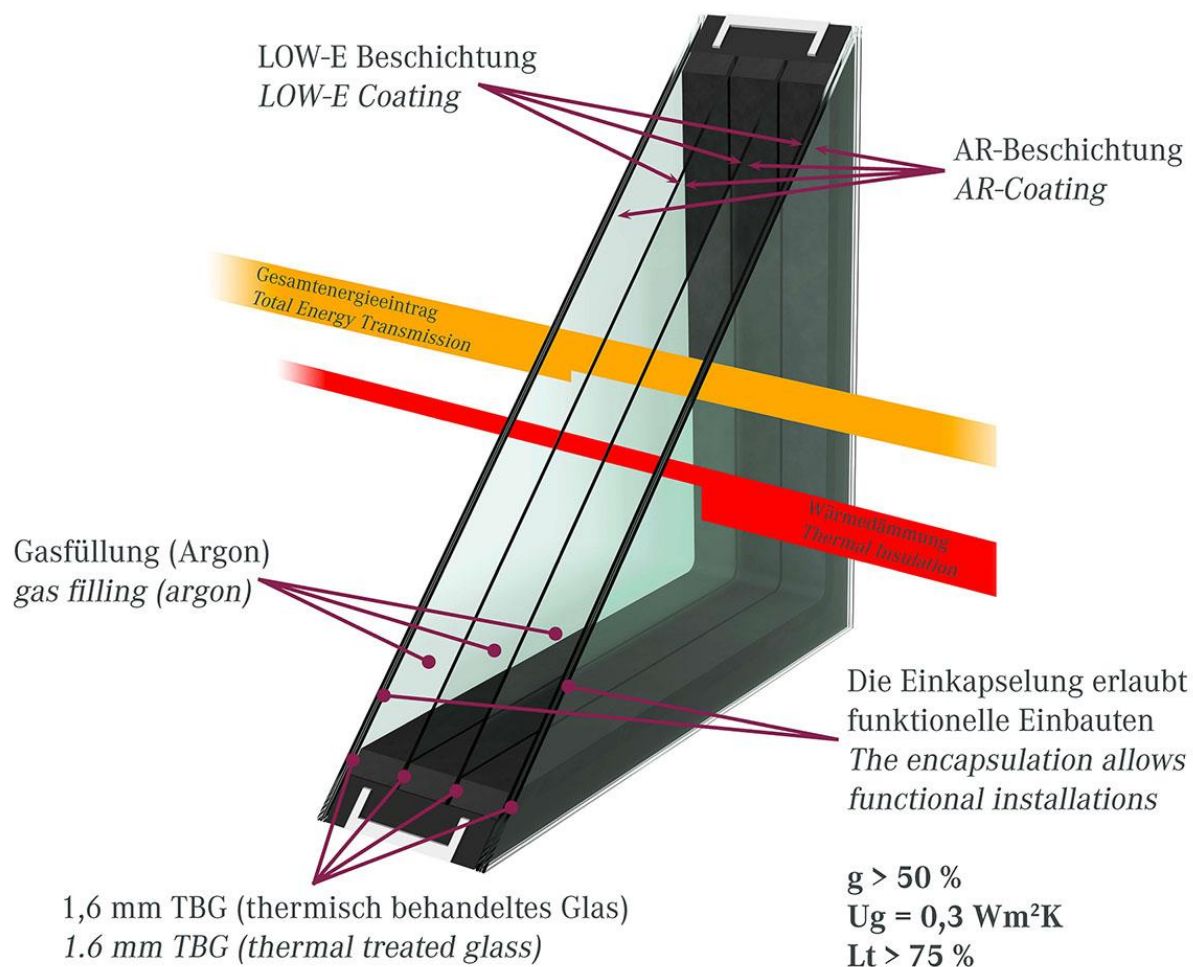


Imagen 2. Ventana de última generación. Coeficiente  $U = 0.3 \text{ Wm}^2\text{K}$ . Fuente: <https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/152569-El-vidrio-aislante-de-calidad-del-futuro-sera-multifuncional.html>

En cualquier caso, este sistema de cálculo siempre me ha parecido injusto. Cuando hablamos de Eficiencia Energética en las instalaciones de climatización y calefacción nunca hablamos del consumo total de energía. La normativa fija un objetivo ( $22^\circ$  en verano) y el trabajo del arquitecto es conseguir ese objetivo de la manera más eficaz. Si fijamos un objetivo más sencillo ( $24^\circ$ ) el consumo va a ser mucho más bajo, volvemos a bajar el listón ( $26^\circ$ ) y el consumo energético baja aún más... Siguiendo esa lógica lo mejor es apagar el aire acondicionado.

En mi opinión hay que saber diferenciar entre ahorro energético y eficiencia energética. En verano todo el mundo prefiere vivir en un lugar climatizado y todo el mundo entiende que este nivel de confort supone un gasto. Con la iluminación natural pasa exactamente lo mismo, a todo el mundo le gusta vivir en una vivienda con una buena iluminación natural y todos sabemos que este nivel de confort va a suponer un gasto extra, pero es un gasto que merece la pena.

El trabajo del arquitecto por lo tanto es conseguir llegar al nivel deseado con una superficie acristalada lo más pequeña posible. Una vivienda bien diseñada puede llegar al objetivo que marque la normativa con un 8% de superficie acristalada mientras que una vivienda peor diseñada puede necesitar un 10% o un 12%... Lo importante en mi opinión es la Eficiencia Energética, sobre todo cuando las diferencias en el consumo energético están en unos niveles tan parecidos.

## **2.0 Normativa sobre iluminación natural.**

### **2.1 Antecedentes y evolución de la normativa.**

La primera normativa sobre iluminación aparece en el siglo sexto con la publicación del “Corpus Juris Civilis” por parte del Emperador Romano Justiniano. En esa época la iluminación artificial dependía únicamente de velas, antorchas y lámparas de aceite, por lo que la iluminación natural tenía muchísima más importancia que hoy en día. Esta normativa incluía una serie de artículos en los que se especificaban los derechos de los propietarios de las viviendas en materia de iluminación. Si alguien por ejemplo construía un edificio muy alto en una parcela vecina y bloqueaba la iluminación de un edificio existente, el propietario podía denunciar a su vecino y conseguir incluso la demolición del nuevo edificio.

En muchos países de Europa el Derecho Romano es la base de la legislación actual, evidentemente ha sufrido muchísimas modificaciones pero hay leyes que se han mantenido a lo largo de muchos siglos y la normativa sobre iluminación es una de ellas. En el Reino Unido por ejemplo la normativa Romana sobre iluminación evolucionó y acabó transformándose en la normativa “Ancient Lights”. En el siglo XIX algunos arquitectos estaban especializados en estos temas y ejercían como inspectores y como testigos en los juicios siempre que se creaba alguna disputa.

En el libro *The consulting architect*, London 1886, escrito por Robert Kerr se describe con todo lujo de detalles el trabajo de este tipo de profesionales y lo más interesante es que el autor describe los problemas a los que se enfrenta día a día, y el deseo de crear una serie de estándares y de métodos de cálculo con un mayor rigor científico.

A principios del siglo XX los deseos de Robert Kerr se hacen realidad con la aparición del concepto “Sky Factor”, un método de carácter científico con el que poder medir los niveles de iluminación de los edificios. El método del “Sky Factor” es reconocido por el CIE en el año 1932 y a pesar de su antigüedad hoy en día sigue siendo un método válido y que se utiliza en el Reino Unido. La normativa exige un nivel del 0.2% pero los expertos recomiendan un mínimo del 0.5%.

El Reino Unido no ha adaptado aun su normativa oficial a los métodos actuales basados en datos climáticos, pero la mayoría de los arquitectos utilizan de manera voluntaria programas de calificación energética para demostrar su compromiso con el medio ambiente y esto ha conseguido difundir los métodos de cálculo más avanzados en muchos países.

## **2.2 Normativa internacional (UK, Francia, Alemania, NZ...).**

En el resto de Europa encontramos mucha variedad en cuanto a la normativa. Lo primero que hay que comentar es que España no es el único País sin normativa sobre Iluminación Natural, En Italia por ejemplo tampoco existe ninguna normativa. Francia tiene una normativa bastante interesante (ED82 L'eclairage Naturel) en la que se mezclan formulas geométricas y algunos cálculos con el Daylight Factor. En Alemania están desarrollando una normativa similar a la francesa (DIN 5034) y en principio todavía no hay ningún país que haya desarrollado una normativa basada en datos climáticos (CBDM), es decir que si en España se crease una Normativa de este tipo nos pondríamos a la vanguardia de la técnica.

El único país que he encontrado con una normativa basada en un método CBDM es Nueva Zelanda (Apartado G7 de su Código de Edificación). El método es un poco antiguo y no es tan exacto como el que se describe en la normativa IES LM-83, pero aun así a mí me ha parecido una normativa muy interesante sobre todo por la sencillez y por la claridad de la norma que simplificando un poco se podría haber expresado en un simple párrafo.

## **2.3 Sistemas de calificación.**

Como hemos visto en el apartado anterior, la normativa oficial y de obligado cumplimiento de la mayoría de los países deja mucho que desear y hay muchos países que ni siquiera tienen normativas respecto a la iluminación natural. Hoy en día los métodos de cálculo punteros solo se utilizan en los sistemas de calificación energética. En estos sistemas de calificación conseguir la máxima puntuación para un edificio es una tarea muy complicada, estamos hablando de edificios Ecológicos en los que las emisiones de CO<sub>2</sub> son nulas o incluso negativas, en los que se han empleado materiales de construcción ecológicos y en los que se ha tenido en cuenta muchísimos aspectos. Para conseguir un punto positivo en el apartado de iluminación estos programas exigen unos niveles de iluminación altísimos y un diseño muy eficaz de las protecciones de las ventanas.

El sistema de calificación LEED 4.0 es posiblemente el más popular a nivel mundial y es el que más se utiliza en Estados Unidos. En el Reino Unido se utiliza mucho el sistema BREEAM Otros ejemplos serían los sistemas Nabers y Green Star en Australia, el sistema Pearl en Abu Dahbi, el Sistema Green Mark en Singapur y el sistema Beam Plus en Hong Kong,

### **3.0 Métodos de cálculo.**

En los siguientes apartados voy a analizar varios métodos de cálculo de iluminación y los diferentes programas informáticos que existen hoy en día. Voy a empezar por los sistemas más sencillos, los que están basados en dimensiones geométricas, voy a continuar con los modelos basados en el Daylight Factor y voy a terminar hablando de los sistemas basados en datos climáticos y en los programas de cálculo informático.

#### **3.1 Cálculo geométrico.**

Las primeras normativas sobre iluminación en la mayoría de los países siempre han estado basadas en fórmulas matemáticas y en relaciones geométricas muy sencillas, En Inglaterra por ejemplo tenían la regla de los 45°, una regla que limitaba la altura de las obstrucciones de las ventanas. En España tenemos una norma que fija las dimensiones de los patios en función de la altura del edificio. En Francia tienen una norma que fija el área de las ventanas en relación con el área interior del local iluminado y una que fija la altura de la ventana en función de la profundidad del local...

- Ventajas de este sistema: Es muy sencillo de aplicar.
- Inconvenientes de este sistema: No se tiene en cuenta la localización, ni la orientación de las ventanas. No se tiene en cuenta el clima ni ningún tipo de protección solar de los huecos. Este tipo de normas además es demasiado rígido y no se adapta bien a las situaciones especiales en las que no queda más remedio que plantear soluciones poco ortodoxas.
- 

#### **3.2 Modelos de cielo cubierto.**

Los modelos de cielo cubierto (DF) aparecen a principios del siglo XX [Waldram 1909] y hoy en día se puede decir que han quedado obsoletos, pero hay que tener en cuenta que durante muchísimos años estos sistemas han sido el mejor método de cálculo con mucha diferencia respecto a los anteriores. Hoy en día podemos calcular el Daylight Factor (Lux Exterior / Lux Interior...) de un edificio en cinco minutos con cualquier programa de iluminación, pero hay que tener en cuenta que en un principio todos los cálculos tenían que hacerse a mano, en un proceso largo y bastante complicado.

- Ventajas de este sistema: Fue el primer sistema basado en el funcionamiento del edificio. Solo tiene en cuenta la iluminación difusa, pero en muchos países de Europa el sistema de cálculo ofrece muy buenos resultados. Es un sistema muy flexible, la normativa te exige un nivel de iluminación (2%) y el arquitecto tiene libertad absoluta para diseñar el edificio, ventanas, lucernarios, etc...
- Inconvenientes del sistema: no se tiene en cuenta la localización ni la orientación del edificio. Tampoco se tiene en cuenta la iluminación solar directa ni el clima del lugar.



### 3.3 Métodos de cálculo basado en datos climáticos.

Los sistemas de cálculo basados en datos climáticos aparecen a finales del siglo XX y principios del siglo XXI y a pesar de su aparición hace tan poco tiempo han evolucionado de una manera rapidísima. Cada dos o tres años aparece un nuevo sistema de cálculo que mejora al anterior y esto es algo genera desconfianza, pero hay que tener muy claro que este tipo de cálculos suponen una auténtica revolución y que incluso los métodos más simples ofrecen unos resultados mucho mejores que los de cualquier otro método.

#### 3.3.1 Daylight Autonomy (DA, CDA, UDA...)

El primer método de cálculo basado en datos climáticos fue el Daylight Autonomy. Es un método estadístico que realiza todos sus cálculos a partir de un archivo en el que se recogen todos los datos climáticos de un año. Este archivo está realizado haciendo la media de los últimos veinte años y en el vemos el nivel de radiación solar directa y difusa en cada hora del día. Cada tipología de edificio tiene unos horarios distintos, pero lo normal es calcular los niveles de iluminación entre las 8am y las 18pm, esto quiere decir que el programa de cálculo tiene que realizar 3.650 simulaciones. Hay edificios con horarios un poco más reducidos y edificios con un horario más amplio, pero al final siempre vamos a estar entre tres y cuatro mil simulaciones. Este método como ya os podéis imaginar sería imposible de aplicar sin un programa informático y aun así el proceso es bastante lento.

En este método el usuario fija un objetivo, 30 Lux, 100 Lux, 300 Lux y el programa calcula durante cuantas horas el nivel de iluminación del 50% del área del local se encuentra por encima del objetivo. El nivel de iluminación que se fija depende del tipo de actividad que se realiza en el local, pero normalmente se escoge un nivel de iluminación que permita realizar las tareas habituales del edificio sin necesidad de utilizar iluminación artificial. Un local con un DA del 100% no necesita utilizar nunca la iluminación artificial y un local con un DA del 90% tendría que utilizarla el 10% del tiempo (365 horas)...

- Ventajas: Se tiene en cuenta la situación y la orientación del edificio. Tiene en cuenta la radiación solar difusa y la directa y todas las características climáticas del lugar. Es un método basado en el funcionamiento y por lo tanto también es muy flexible, la norma fija un objetivo y el arquitecto tiene libertad para resolver el problema de la manera más efectiva.
- Inconvenientes: Si fijamos un objetivo muy alto (300-500 Lux), los resultados no reflejan demasiado bien el comportamiento de los locales más desfavorables del edificio. Si fijamos un objetivo muy bajo, los resultados no reflejan las diferencias en los niveles de iluminación en los locales mejor iluminados. Este método de cálculo no tiene en cuenta la posibilidad de deslumbramiento y no permite calcular sistemas de persianas o lamas móviles.

El segundo método de cálculo basado en datos climáticos fue el Continuous Daylight Autonomy (CDA). Este método tiene en cuenta los valores situados por debajo del objetivo marcado en un principio... Si fijamos un objetivo de 300 Lux y el programa calcula un nivel de iluminación de 150 Lux esa hora se contabiliza con una puntuación de 0.5. Este método ofrece prácticamente los mismos resultados que el Daylight Autonomy, se mejora un poco la sensibilidad ante locales con niveles muy bajos de iluminación pero todo depende mucho del nivel exigido en un principio. En la normativa de Nueva Zelanda se exige un nivel muy bajo durante la mayor parte del año (30 Lux) y en ese caso la diferencia es mínima.

El tercer método de cálculo basado en datos climáticos fue el Useful Daylight Illumination (UDI). En este método el programa fija un nivel mínimo de 100 Lux y un nivel máximo de 3000 Lux y el objetivo es el siguiente.... La suma de la iluminación natural difusa y de la iluminación directa reflejada no suele estar nunca por encima de los 3.000 luxes. Cuando en un local tenemos más de 3.000 luxes esto se debe con total seguridad a la entrada de la radiación solar directa. Este método de cálculo no fija un tope máximo porque ese nivel de iluminación sea exagerado, fija un tope máximo porque quiere limitar la entrada directa del sol.

Dentro de un edificio la mejor solución siempre va a ser una ventana orientada hacia el sur con un sistema de lamas que evite la entrada directa del sol, pero si hacemos un cálculo utilizando los parámetros DA o CDA el programa nos dice que la mejor solución es una ventana orientada hacia el sur sin ningún tipo de protección. Al introducir un tope máximo el programa penaliza a la habitación que no utiliza ningún tipo de protección, ya que en algunos momentos del día la iluminación va a ser muy alta. Una habitación orientada hacia el sur con un sistema de lamas nunca va a estar por encima del nivel máximo, porque las lamas distribuyen la iluminación de una manera más uniforme por toda la habitación, manteniendo un nivel alto, pero que nunca sobrepasa el límite, por lo que la puntuación va a ser máxima.

- Ventajas: Funciona un poco mejor que los sistemas anteriores y el proceso de cálculo sigue siendo bastante simple.
- Inconvenientes: Limitar el nivel máximo de iluminación no garantiza eliminar el problema del deslumbramiento y el sistema tampoco tiene en cuenta los sistemas de protección móviles.

### **3.3.2 Glare analysis (SDA + ASE).**

Los tres sistemas de cálculo que hemos visto en el apartado anterior son los más importantes dentro de la “primera generación” son métodos sencillos y funcionan bastante bien, sobre todo si se aplican en una normativa de mínimos, pero no tienen en cuenta algunos parámetros que también son importantes. En la “segunda generación” los métodos son mucho más complejos, se tiene en cuenta la cantidad de la iluminación pero también se le presta muchísima atención a la calidad de la iluminación, es decir al deslumbramiento. Estos métodos son los más adecuados para un sistema de calificación, ya que cuando buscamos la perfección hay que tener en cuenta la cantidad y la calidad de la iluminación.

En este tipo de métodos el proceso de cálculo tiene tres pasos. En el primer paso se calculan las probabilidades del deslumbramiento o la entrada de sol en el local. Existen varios parámetros pero al final el resultado siempre es el mismo: un calendario en el que vemos las horas en las que el nivel de iluminación es excesivo. Una vez que tenemos este calendario calculamos el nivel de iluminación con dos variantes del edificio, una con las persianas abiertas y otra con las persianas cerradas. Y cuando hablo de persianas me refiero a persianas, toldos, venecianas, cortinas, etc... es decir cualquier elemento de protección que elimine el riesgo de deslumbramiento. Una vez hechos los dos cálculos el programa suma los resultados y nos da el valor total.

El nivel de iluminación se calcula siempre utilizando el parámetro Spatial Daylight Autonomy (SDA) que es el porcentaje de área de un local con un nivel de iluminación superior a 300% durante más del 50% del año. Pero el deslumbramiento se puede calcular de varias formas.

El primer sistema de cálculo para el deslumbramiento es el Daylight Glare Probability (DGP). En este sistema hay que definir una cámara dentro del local, esta cámara toma una serie interminable (3K-4K) de fotografías virtuales del local y las analiza para comprobar que la iluminación es uniforme, es decir que no existe ninguna zona con un nivel de iluminación muchísimo más alto que las de los alrededores. El programa detecta la entrada directa del sol y crea el calendario del que hablamos en un principio.

El gran problema de este método es que hay que definir la posición y la orientación de la cámara, algo más o menos simple en una oficina o en un aula de un colegio, pero hay muchos edificios en los que es realmente difícil decidir dónde colocar la cámara.... En un edificio de viviendas por ejemplo las posibilidades son infinitas porque en principio es imposible saber cómo va a estar amueblado... Puedes tener una idea aproximada, pero nunca vas a estar seguro.

El segundo sistema de cálculo es el Anual Sunlight Exposure (ASE). En este método no se calcula la posibilidad de deslumbramiento de manera directa, pero si se calcula la entrada directa de la luz solar, que en la mayoría de los casos es la que genera el deslumbramiento.

En este método se calcula el área del local en la que el nivel de iluminación directa es superior a 1.000 luxes durante más de 250 horas al año. Es una simulación bastante rápida ya que el proceso está simplificado (ab 0, es el equivalente a renderizar en baja calidad...) y además no hay que preocuparse por colocar una cámara dentro del local, pero el proceso de cálculo sigue siendo tremendamente largo porque este es simplemente el primer paso de los tres que hay que realizar y hay que tener en cuenta que cada habitación tiene unas dimensiones y una orientación distintas, por lo que este método no se puede aplicar de una sola vez... hay que fragmentar el edificio y analizar los locales prácticamente de uno en uno, cada uno con su sistema de protección y con un calendario distinto. Estamos hablando de realizar tres simulaciones por cada habitación, en un edificio que puede tener cientos de habitaciones...

- Ventajas: Todas, es un método realmente bueno que tiene en cuenta todos los factores que intervienen en la iluminación del edificio.

- Inconvenientes: Es un método complejo y el proceso de cálculo ahora mismo es algo agotador, sobre todo en edificios de viviendas en los que las plantas están muy fragmentadas.

### 3.3.3 Programas de cálculo.

En este apartado voy a hablar un poco sobre los distintos programas de cálculo disponibles, pero tampoco voy a profundizar demasiado en ellos. Lo más importante cuando hablamos de programas es asegurarnos de que los resultados son fiables y de que son capaces de calcular todos los parámetros necesarios.

Hace casi veinte años, cuando los programas de cálculo de iluminación empezaron a aparecer en el mercado, se realizó un estudio (Ubbelohde, M. S., and C. Humann. 1998) en el que se medía el nivel de iluminación en un edificio. Se utilizó el mismo edificio en todos los programas y se compararon los resultados para ver si en todos los casos el resultado era el mismo. El estudio reveló que cada programa arrojaba unos resultados distintos por lo que la fiabilidad quedaba claramente en entredicho. Hoy en día la situación es completamente distinta, los programas han evolucionado y han corregido todos sus errores. Hace tres años se volvió a repetir el experimento [Iverson et al. 2013] y esta vez todos los programas ofrecieron el mismo resultado...

ROOM 4 – ROOM WITH LIGHT SHELF – Simulation sheet

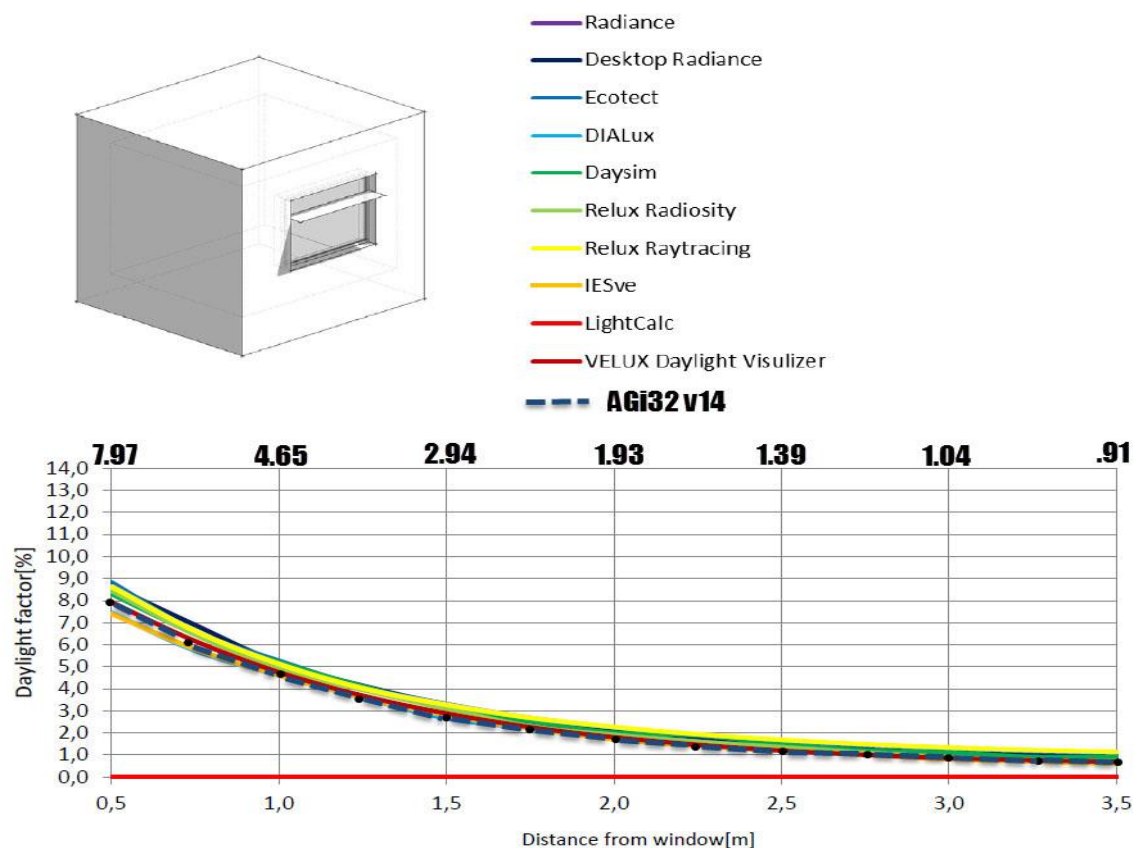


Imagen 3. Comparativa entre varios programas de cálculo.

Fuente: <http://agi32.com/blog/2014/03/05/daylight-factors/>

La segunda cuestión que hay que tener en cuenta es la siguiente: ¿Puedo calcular todos los parámetros con todos los programas? La respuesta es un no rotundo.

El método IES LM-83 se definió hace cuatro años y empezó a ganar popularidad cuando el sistema de calificación LEED 4.0 lo adoptó como método de cálculo oficial, es decir, hace dos años. En los próximos años todos los programas se irán actualizando y podrán realizar el cálculo pero en este momento hay muy pocos programas que pueden realizar todos los cálculos: Diva for Rhino, Autodesk Revit, Sefaira y AGi32 y el problema no es que sean pocos, el problema es que la mayoría son programas muy caros y tienen un sistema de pagos un poco abusivo.

### **3.3.4 Cálculo en la nube.**

En un apartado anterior hemos visto como el método de cálculo más exacto que existe ahora mismo (SDA+ASE) funciona muy bien, pero es muy difícil de aplicar en la práctica... Es un método que te obliga a realizar muchísimas simulaciones y cada simulación supone un tiempo de cálculo muy elevado.

En esta situación las empresas de Software han visto una oportunidad de negocio y la mayoría (Autodesk, LightStanza y Sefaira) han decidido utilizar un sistema de cálculo en la nube. El usuario prepara el modelo del Edificio en 3D, fija todos los parámetros de cálculo (Materiales, situación, superficies de cálculo, etc...) y pulsa el botón calcular.... En ese momento el programa manda el archivo a los servidores de la empresa, un súper-ordenador realiza los cálculos y te envían los resultados de manera casi inmediata. El problema evidentemente es que cada vez que realizas una simulación te cobran una pequeña cantidad de dinero...

A mi este sistema de cálculo me parece abusivo y realizar el cálculo en modo local me parece un trabajo excesivamente duro por lo que al final he preferido utilizar un método un poco más simple. Dentro de cinco o diez años la situación habrá cambiado y tal vez se pueda aplicar este método de una forma sencilla y con un programa gratuito, pero mientras tanto hay que esperar.

### 3.4 Programa Rhinoceros + Diva.

Todos los cálculos que aparecen en este trabajo están realizados utilizando el Programa Rhinoceros y la extensión Diva. Los motivos para elegir estos programas han sido la facilidad de uso, la capacidad de calcular todas las métricas de manera local (El cálculo en la nube no suele ser gratuito...) y la opción de conseguirlos gracias a una licencia de estudiante.

El programa Rhinoceros es muy similar al AutoCAD, pero no es necesario aprender a utilizarlo en profundidad ya que podemos modelar los edificios e importarlos sin ningún problema.

El primer paso por lo tanto siempre va a ser el modelado del edificio en AutoCAD, y aquí simplemente hay que tener en cuenta que cada material debe estar situado en su capa correspondiente: Muro de Fachada, Muro interior, Suelo, Techo, Carpintería y Vidrios... Los muros pueden ser sólidos pero lo lógico es explotarlos y colocar cada cara en la capa que el corresponda. Los vidrios no pueden ser sólidos, tienen que ser un elemento 2D tipo “Cara”.

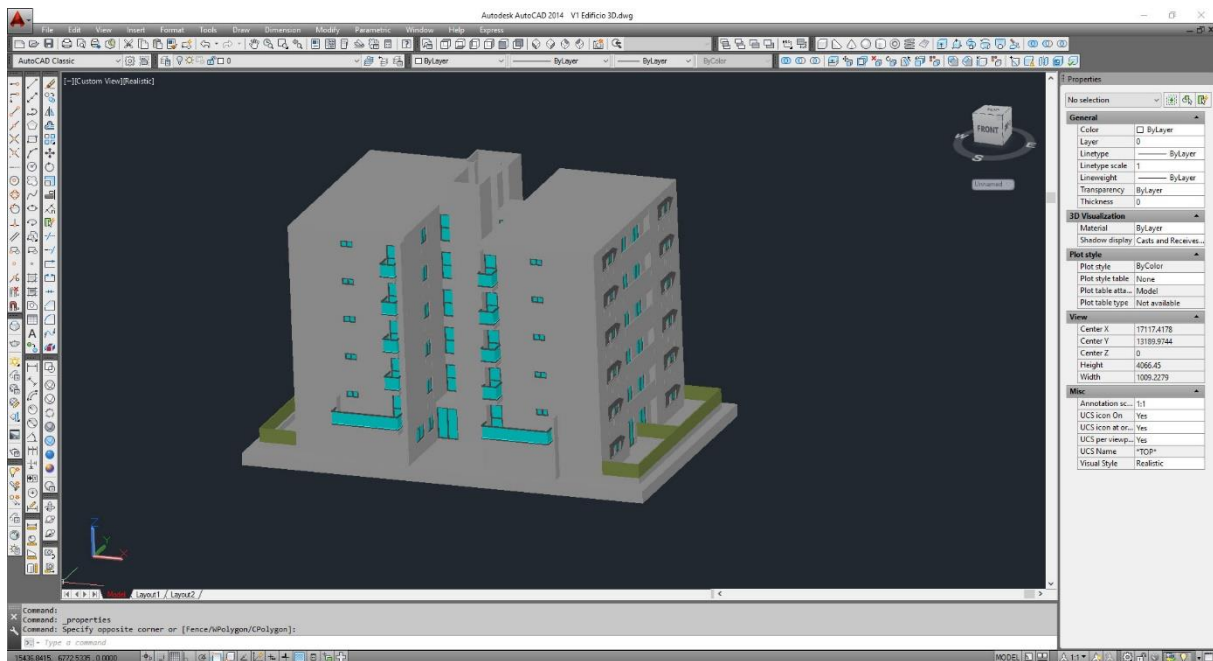


Imagen 4. Primer paso en el proceso de cálculo: Modelado en 3D con programa AutoCAD.

El Segundo paso en el proceso de cálculo es importar el Edificio al Programa Rhinoceros: Abrimos el programa, nos vamos al menú “Abrir” situado en la esquina superior izquierda y seleccionamos “Abrir archivo”. Se nos abre una ventana de navegación en Windows, buscamos la carpeta donde está guardado el archivo DWG y lo abrimos. A continuación aparece un menú

muy sencillo en el que simplemente hay que indicar las unidades en las que se ha dibujado el Edificio en AutoCAD (Metros...).

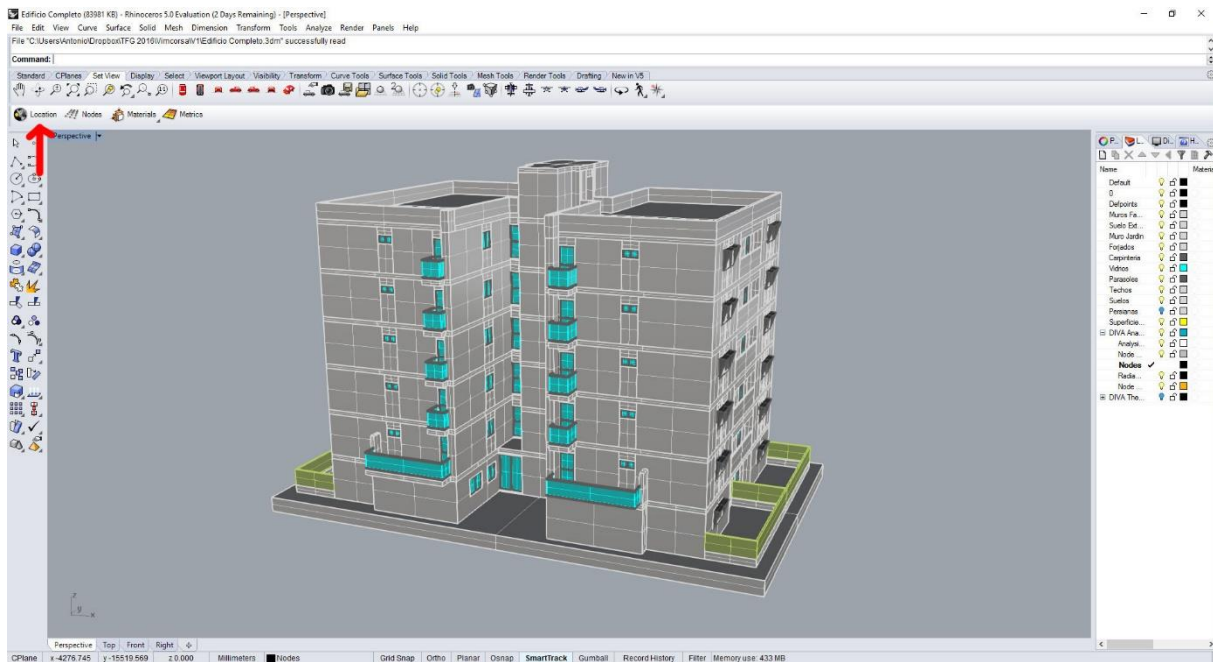


Imagen 5. Segundo paso en el proceso de cálculo: Abrir Archivo DWG y Guardar.

Una vez que tenemos el edificio en el Programa Rhinoceros podemos empezar con el cálculo y lo primero que vamos a hacer es asignar una localización. Hacemos clic en el icono “Location” y se nos abre la carpeta “Weather Files” del programa Diva. En esta carpeta debemos haber guardado previamente los archivos climáticos (EPW) de las capitales de Provincia de España (Estos archivos se pueden conseguir en la página <https://energyplus.net/weather>).

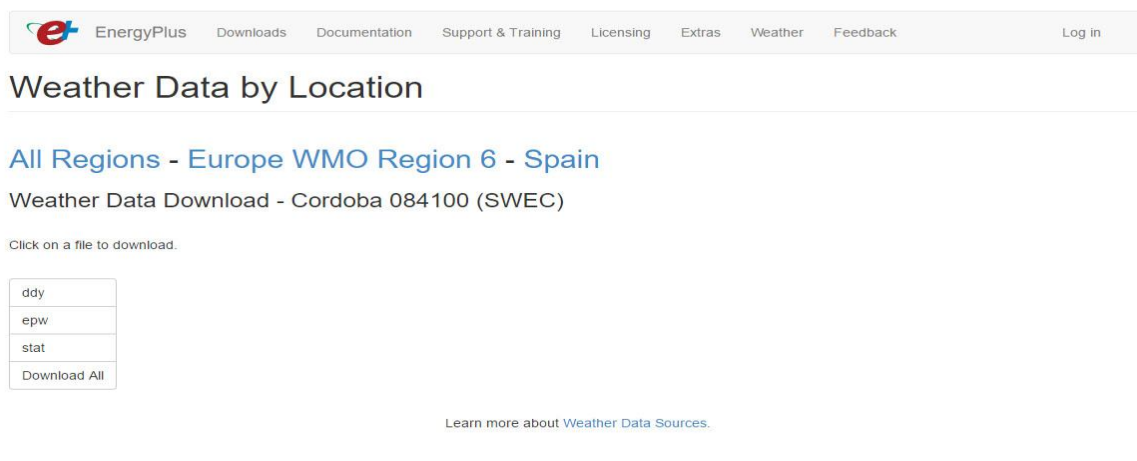


Imagen 6. Tercer paso: Localización, datos obtenidos en la web Energyplus.net.



Otra posibilidad es utilizar los “Climas de Referencia” que encontramos en la web del Ministerio de Fomento, el problema es que estos datos están en formato “.MET” y este tipo de archivos no son compatibles con el programa Diva. En algunas páginas de internet se pueden encontrar los archivos en formato EPW, pero lo ideal sería poder descargarlos desde la página oficial del Ministerio.

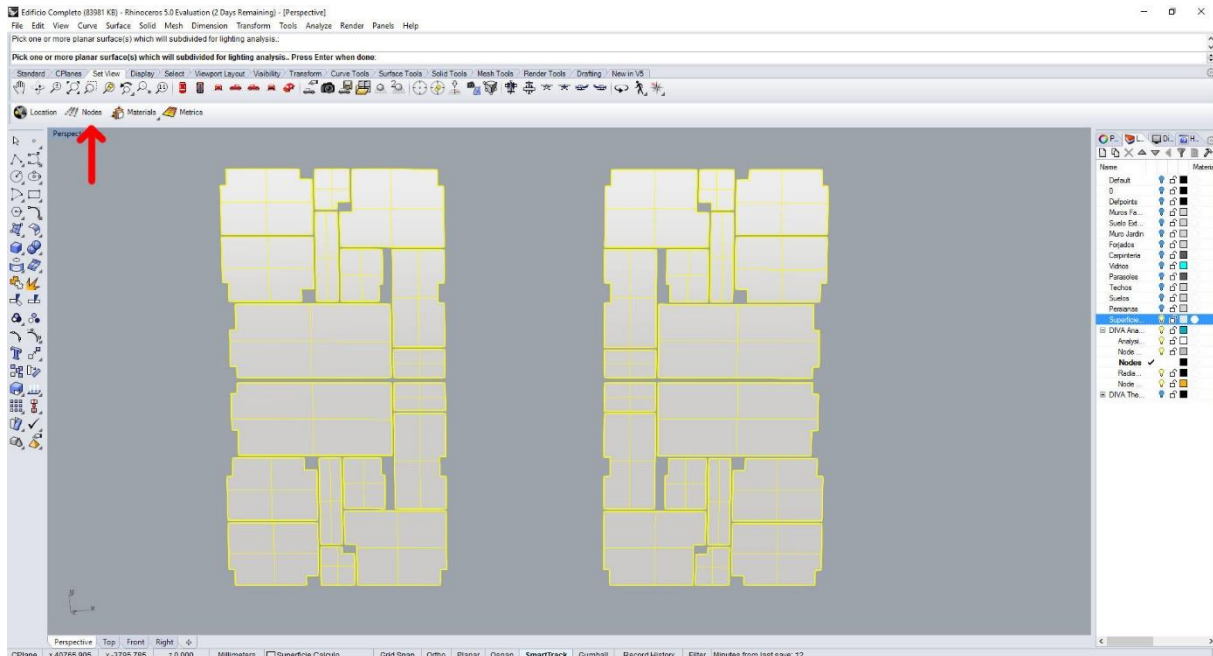


Imagen 7 Selección de los Locales, planos de cálculo y separación entre nodos.

El siguiente paso es elegir los locales que vamos a calcular. Pulsamos el Botón “Nodes” y el programa nos pregunta cuales van a ser las superficies de cálculo. Para facilitar la selección apagamos todas las capas menos la capa “Suelo” y seleccionamos los locales que queremos calcular. A continuación el programa nos pregunta cuál es la altura del plano de trabajo (750mm) y la separación entre nodos (500mm).



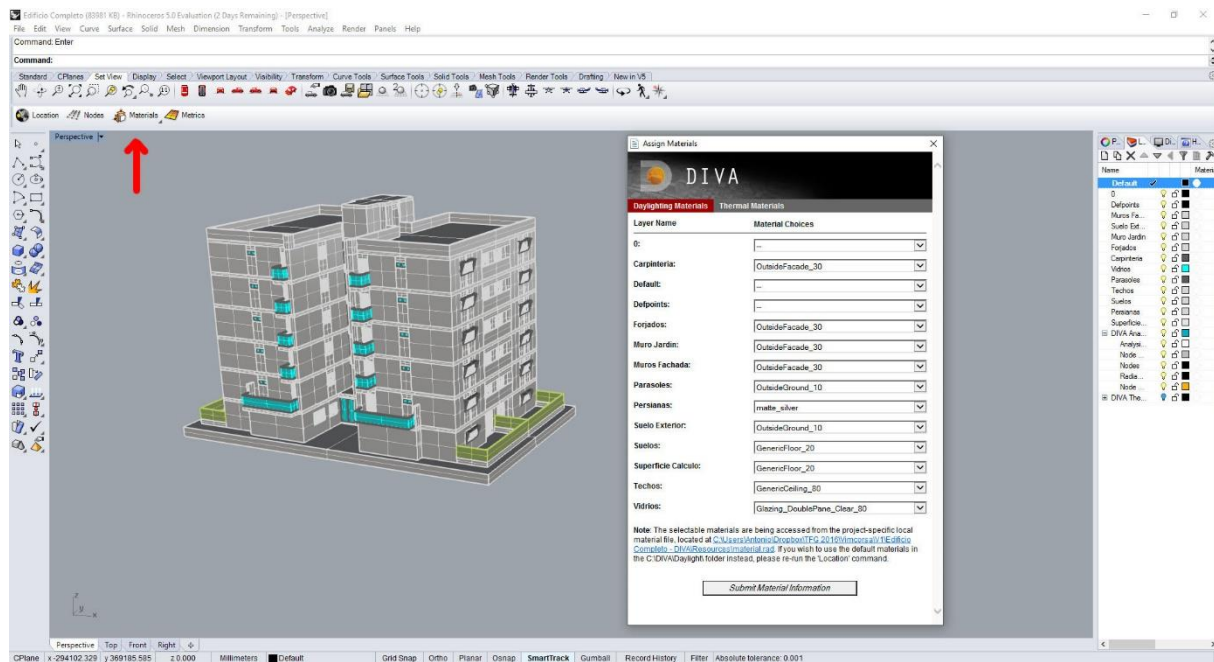


Imagen 8. Elección de los materiales.

El siguiente paso es la elección de los materiales. Pulsamos el Botón “Materials” y se nos abre un cuadro de dialogo muy sencillo en el que aparecen todas las capas del dibujo. Asignamos un material a cada capa eligiendo de manera aproximada el nivel de reflexión. El programa tiene una biblioteca de materiales bastante pequeña, pero siempre queda la opción de crear nuestros propios materiales.

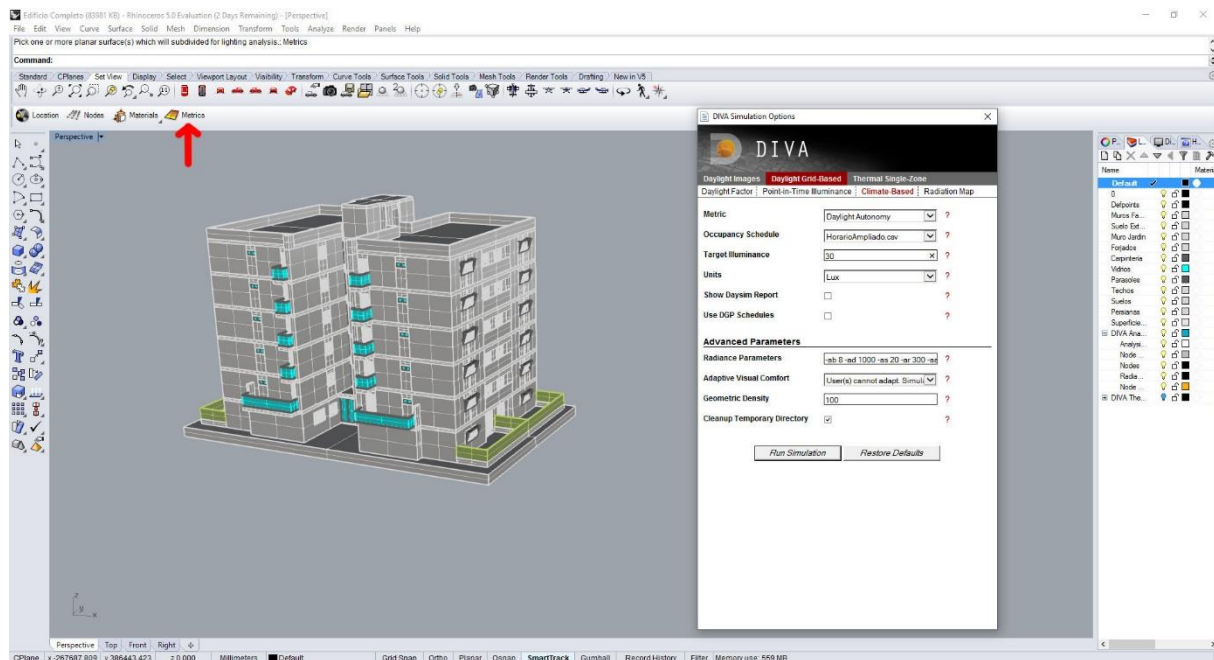


Imagen 9. Ultimo Paso: Elegimos el tipo de Simulación y fijamos los parámetros de cálculo.

El último paso consiste en elegir la simulación que queremos realizar. Pulsamos el botón “Metrics” y en nuestro caso elegimos “Daylight Grid-Based” y “Climate-Based”. Se nos abre un cuadro con las opciones y elegimos “Daylight Autonomy”. El horario de cálculo es un parámetro muy importante y el programa tiene una biblioteca algo limitada, por lo que es necesario crear un horario modificado que tenga en cuenta la iluminación a lo largo de todo el día: “Horario Ampliado”. Fijamos el objetivo en 30 Lux y modificamos el parámetro “-ab 8” para conseguir una mayor precisión en los resultados y pulsamos el botón “Run Simulation”.

El proceso de cálculo por lo tanto tiene tres fases: Modelado, Preparación y Cálculo.

La primera fase puede ser muy rápida si ya tenemos dibujado el edificio en 3D, pero si no lo tenemos puede ser bastante larga. La segunda fase se puede completar “en cinco minutos” una vez que aprendes a utilizar el programa Diva. La tercera fase es posiblemente la más larga de todas (unos 15 minutos por cada vivienda...), el proceso de cálculo es muy laborioso y ese es el principal motivo por el que prefiero utilizar una Métrica tan sencilla. El método de cálculo indicado en la norma (LM-83-12) supondría tener que realizar tres simulaciones en cada local, multiplicando el tiempo de cálculo de manera excesiva... un edificio de tamaño medio pasaría de uno o dos días a una o dos semanas de cálculo.

#### **4.0 Criterios de diseño de patios.**

Antes de pasar a analizar el funcionamiento de varios edificios reales creo que es conveniente realizar un estudio sobre el diseño y el funcionamiento de los patios, ya que en la mayoría de los edificios las habitaciones iluminadas mediante patios de luz suelen ser las que reciben una menor cantidad de iluminación natural y por lo tanto son las más desfavorables desde el punto de vista del cálculo.

El Código Técnico (DB HS3) regula las dimensiones mínimas de los patios mediante dos criterios: Tamaño mínimo y relación entre la altura del edificio y el diámetro del patio, pero todos estos parámetros al final van a depender de la Normativa Municipal, ya que esta tiene prioridad sobre el Código Técnico.

##### **3.2.1 Aberturas y bocas de ventilación**

*“En ausencia de norma urbanística que regule sus dimensiones, los espacios exteriores y los patios con los que comuniquen directamente los locales mediante aberturas de admisión, aberturas mixtas o bocas de toma deben permitir que en su planta se pueda inscribir un círculo cuyo diámetro sea igual a un tercio de la altura del cerramiento más bajo de los que lo delimitan y no menor que 3 m.”*

Las normativas municipales suelen ser mucho más permisivas que el Código Técnico (Puedes demoler un edificio o simplemente rehabilitarlo y la normativa urbanística aplicable a esa parcela sigue siendo muy antigua...) y permiten la realización de patios de tamaños muy pequeños (H/4, H/5, H/6...), pero evidentemente cada población tiene unas normativas distintas por lo que tampoco se puede generalizar.

El único parecido entre uno y otro es que en la mayoría de los casos siempre se regula en función de dos parámetros: Tamaño mínimo y relación de alturas.

En las simulaciones que veremos más adelante yo utilizo un modelo teórico que simula de una manera bastante ingeniosa el parámetro de la relación de altura... Es un patio de 3x3 metros de tamaño con una habitación de 9 metros cuadrados y una ventana de 1 metro cuadrado, una dimensión estándar para un dormitorio con una superficie de ventana que también se puede considerar muy habitual. La altura entre plantas es de 3 metros y por lo tanto cada planta equivale a un escalón en la relación de alturas entre el edificio y el patio. Al ir modificando los parámetros vamos a ver como los niveles de iluminación varían entre una planta y otra. Si en una simulación vemos por ejemplo que las tres habitaciones superiores reciben un buen nivel de iluminación eso quiere decir que un patio con una relación H/3 puede funcionar de manera aceptable. Si cambiamos los parámetros y vemos como la iluminación solo llega a las dos habitaciones superiores pues ya sabemos que en ese caso sería necesario crear un patio con una relación H/2.

Todas estas simulaciones van a ser muy útiles para entender que parámetros influyen de manera más importante en el diseño de los patios y también van a servir para demostrar que la normativa actual es bastante arbitraria y no funciona muy bien, ya que hay muchos parámetros que no se tienen en cuenta.

### Localización del edificio.

En esta simulación voy a empezar analizando la influencia de la localización del edificio en la iluminación de las viviendas. España es un país pequeño, pero las diferencias climáticas entre el sur y el norte son bastante importantes y esto es algo que influye en los niveles de iluminación. Estos son los resultados de la simulación...

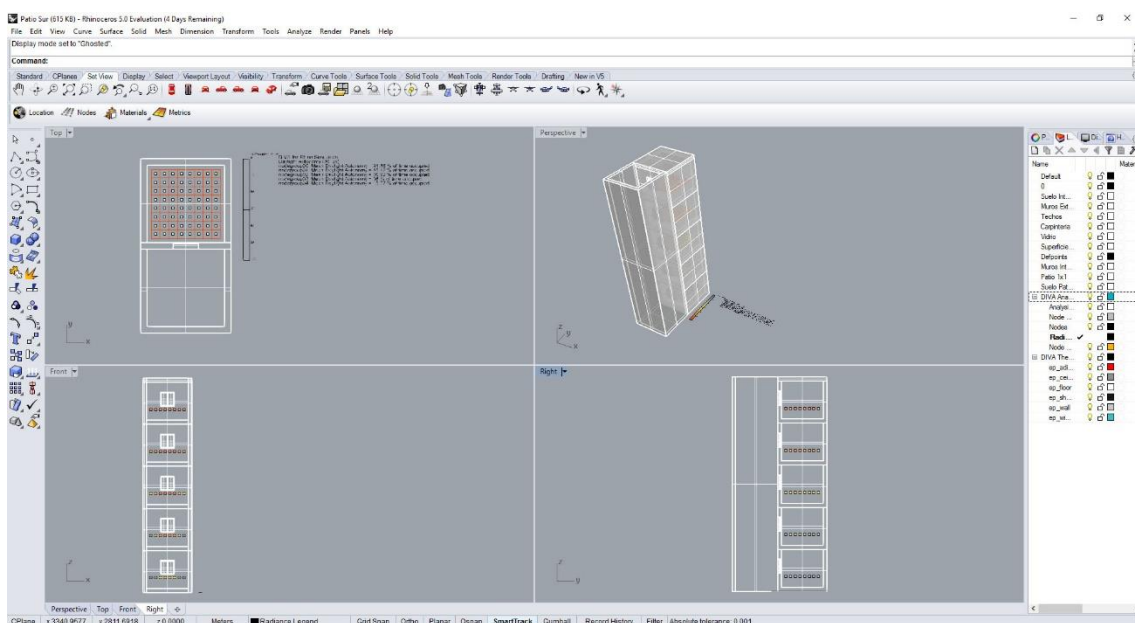


Imagen 10. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Imagen general de la simulación.

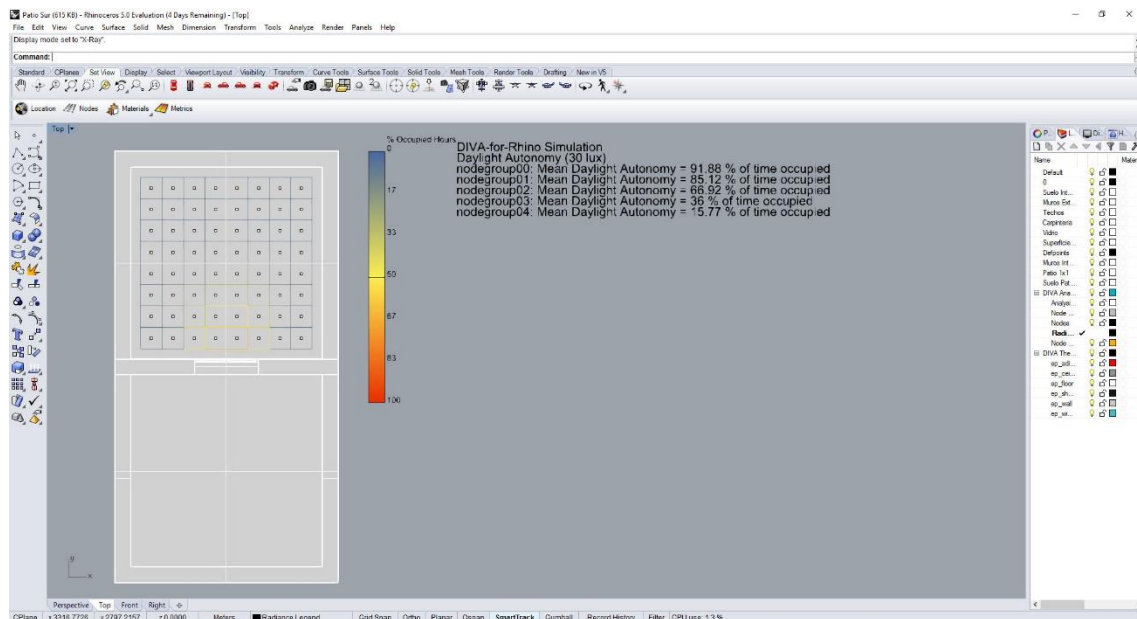


Imagen 11. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Resultados de la Simulación.

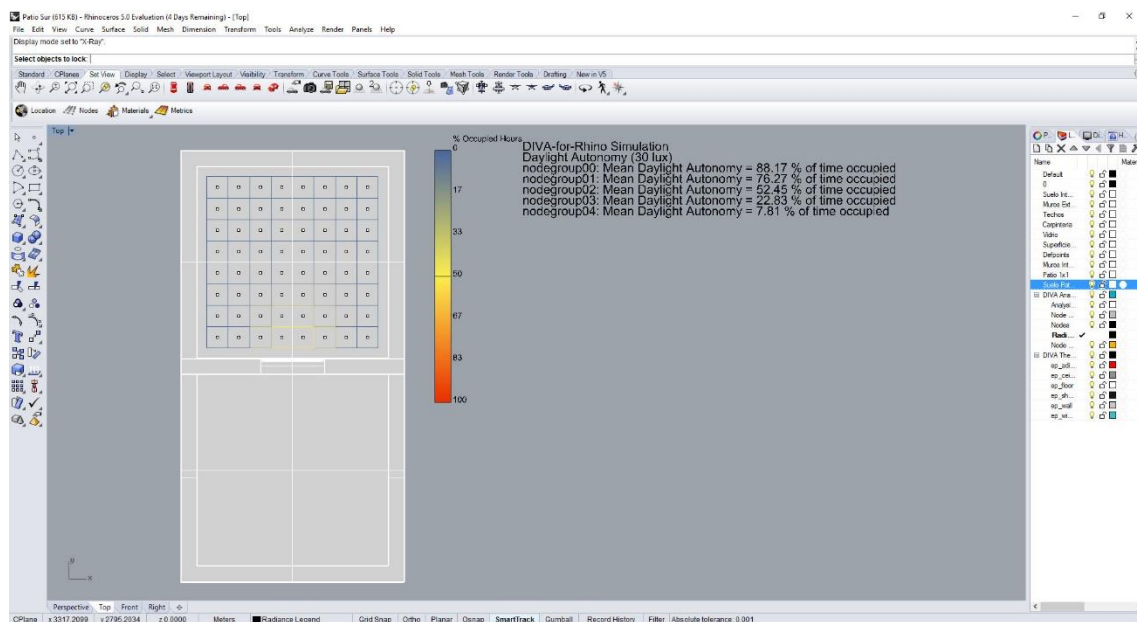


Imagen 12. Patio de 3x3m Situado en Bilbao. Resultados de la Simulación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 05	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 04	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	66%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	36%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	15%	8	80	80	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 05	Bilbao	88%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 04	Bilbao	76%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 03	Bilbao	52%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 02	Bilbao	22%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 01	Bilbao	7%	8	80	80	50	90	3x3

Imagen 13. Comparativa entre Córdoba y Bilbao. Niveles de Iluminación.

Como podemos ver en los resultados, los niveles de iluminación en Córdoba están entre un 10% y un 15% por encima de los de Bilbao y esto puede suponer la diferencia entre que un patio con una relación de altura de H/3 funcione bien en Córdoba y mal en Bilbao, aunque todo depende un poco del nivel mínimo de Iluminación que fije la normativa.

### Orientación del local.

En esta simulación voy a analizar la influencia que tiene la orientación en los niveles de iluminación. Una habitación iluminada por una ventana situada en fachada tiene unos valores de iluminación que dependen mucho de la orientación y esto es algo que vamos a ver seguramente en las habitaciones de la última planta, pero a medida que nos adentramos en el patio la luz se refleja en las superficies del patio y el nivel de iluminación debería ser bastante uniforme, independientemente de la orientación de la ventana.



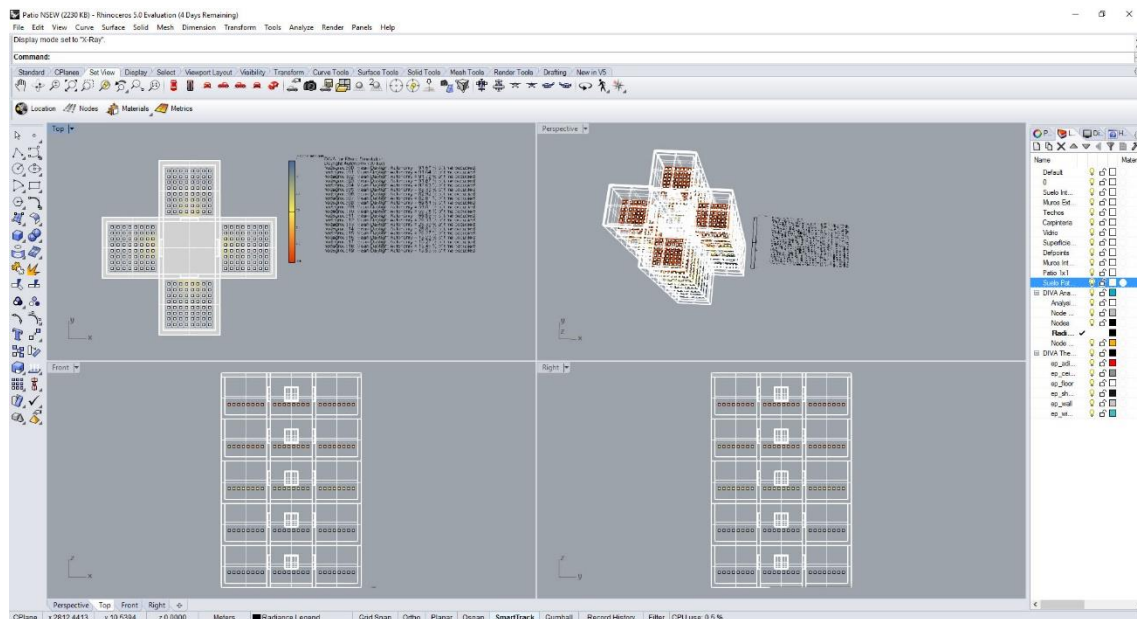


Imagen 14. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Imagen general de la simulación.

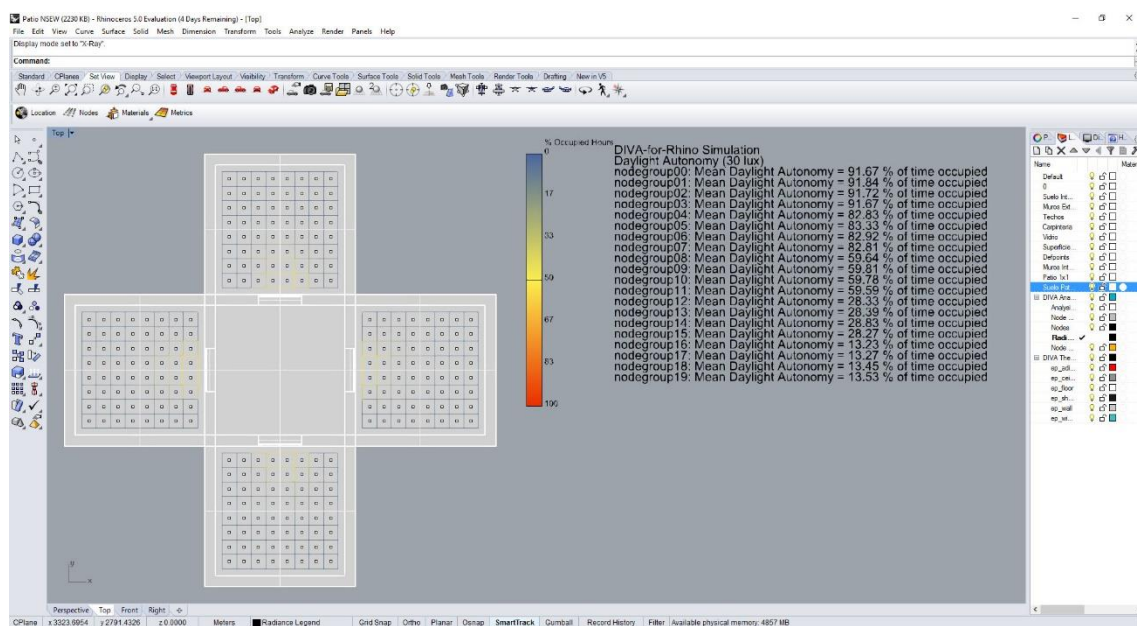


Imagen 15. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Resultados de la simulación.

P5	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Norte	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Sur	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Este	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Oeste	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
P4	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Norte	Cordoba	82%	8	80	80	50	90	3x3
Sur	Cordoba	82%	8	80	80	50	90	3x3
Este	Cordoba	83%	8	80	80	50	90	3x3
Oeste	Cordoba	82%	8	80	80	50	90	3x3
P3	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Norte	Cordoba	59%	8	80	80	50	90	3x3
Sur	Cordoba	59%	8	80	80	50	90	3x3
Este	Cordoba	59%	8	80	80	50	90	3x3
Oeste	Cordoba	59%	8	80	80	50	90	3x3
P2	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Norte	Cordoba	28%	8	80	80	50	90	3x3
Sur	Cordoba	28%	8	80	80	50	90	3x3
Este	Cordoba	28%	8	80	80	50	90	3x3
Oeste	Cordoba	28%	8	80	80	50	90	3x3
P1	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Norte	Cordoba	13%	8	80	80	50	90	3x3
Sur	Cordoba	13%	8	80	80	50	90	3x3
Este	Cordoba	13%	8	80	80	50	90	3x3
Oeste	Cordoba	13%	8	80	80	50	90	3x3

Imagen 16. Comparativa entre Orientaciones NSEW. Niveles de Iluminación.

Como podemos ver en la tabla de Excel, los niveles de iluminación en las habitaciones que dan al patio son completamente homogéneos, independientemente de su orientación. Yo esperaba ver algunas diferencias en las dos plantas superiores pero sorprendentemente los resultados han sido muy similares para las cuatro orientaciones.

## Índice de Reflexión de los paramentos.

En esta simulación voy a analizar la influencia del índice de reflexión de los muros que forman el patio y de los tabiques anteriores, este parámetro es muy importante y los resultados son bastante previsibles, pero aun así va a ser interesante comprobar el funcionamiento con muros de color oscuro (50%), muros de color claro (70%) y muros blancos con un alto nivel de Reflexión.

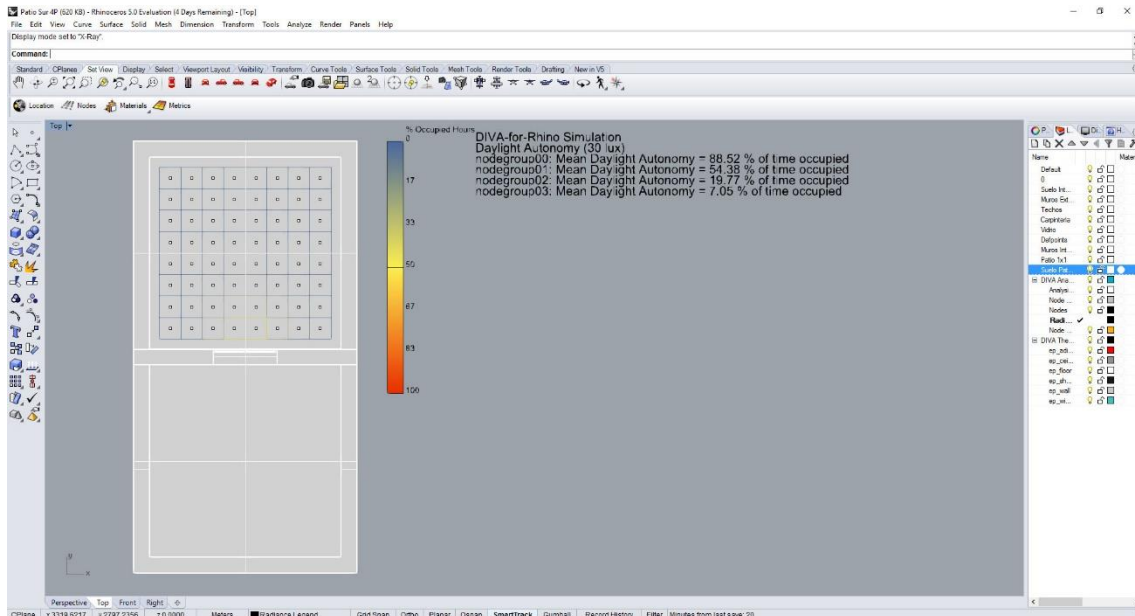


Imagen 17. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Resultados de la simulación IR 50%.

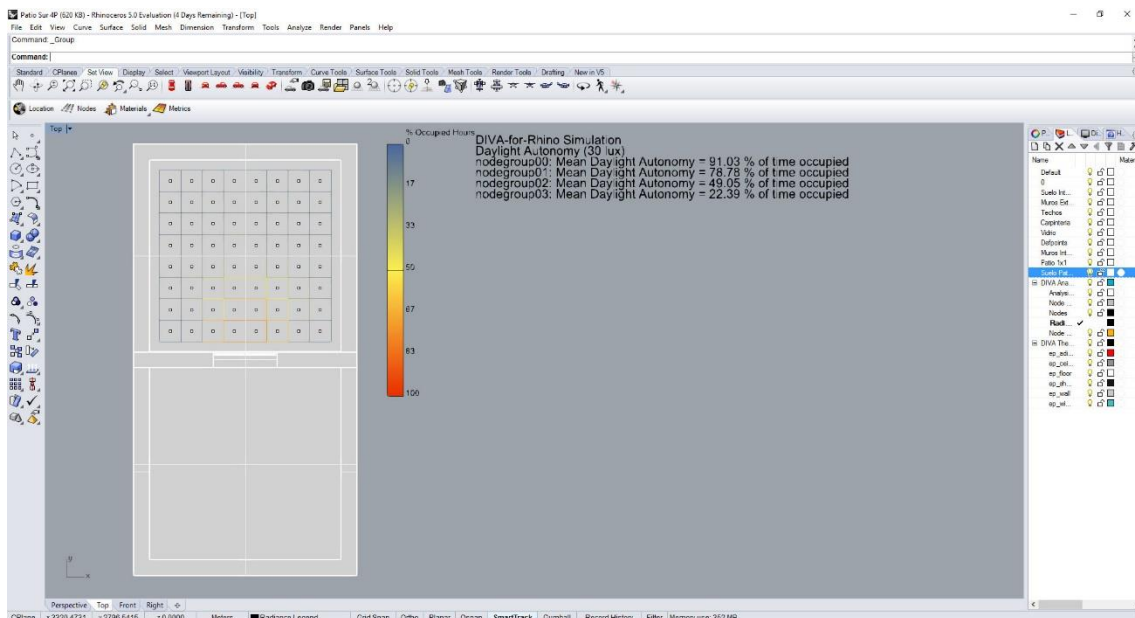


Imagen 18. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Resultados de la simulación IR 70%.



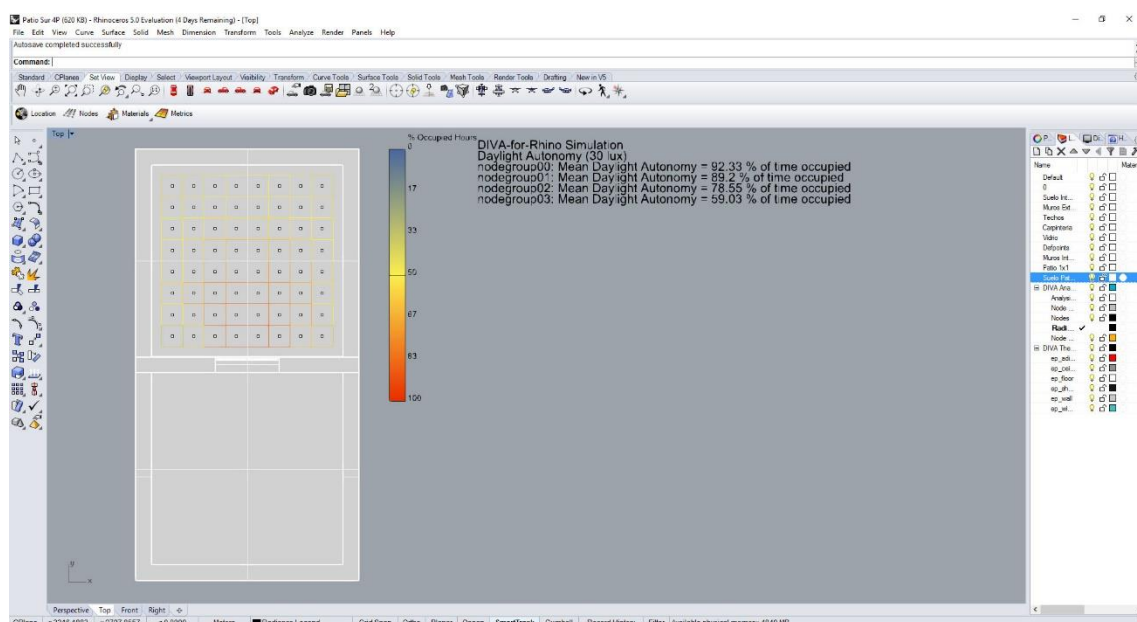


Imagen 19. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Resultados de la simulación IR 90%.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	88%	8	50	50	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	54%	8	50	50	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	19%	8	50	50	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	7%	8	50	50	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	70	70	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	78%	8	70	70	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	49%	8	70	70	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	22%	8	70	70	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	90	90	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	89%	8	90	90	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	78%	8	90	90	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	59%	8	90	90	50	90	3x3

Imagen 20. Comparativa entre IR 50% IR 70% IR 90%. Niveles de Iluminación

Como era de esperar, el índice de reflexión de las paredes del patio tiene una importancia altísima en los resultados obtenidos. La diferencia entre un índice del 50% y uno del 90% puede llegar a compensar hasta dos plantas de profundidad.

## Factor de forma (Pacios rectangulares).

En esta simulación voy a analizar la influencia del factor de forma del patio en los niveles de iluminación. La normativa urbanística suele definir los patios en función de su diámetro, por lo que utilizar un patio rectangular no supone ninguna ventaja frente a uno cuadrado, octogonal o circular, pero en la práctica este detalle si influye en los resultados y es un parámetro muy importante ya que los patios rectangulares son muy habituales.

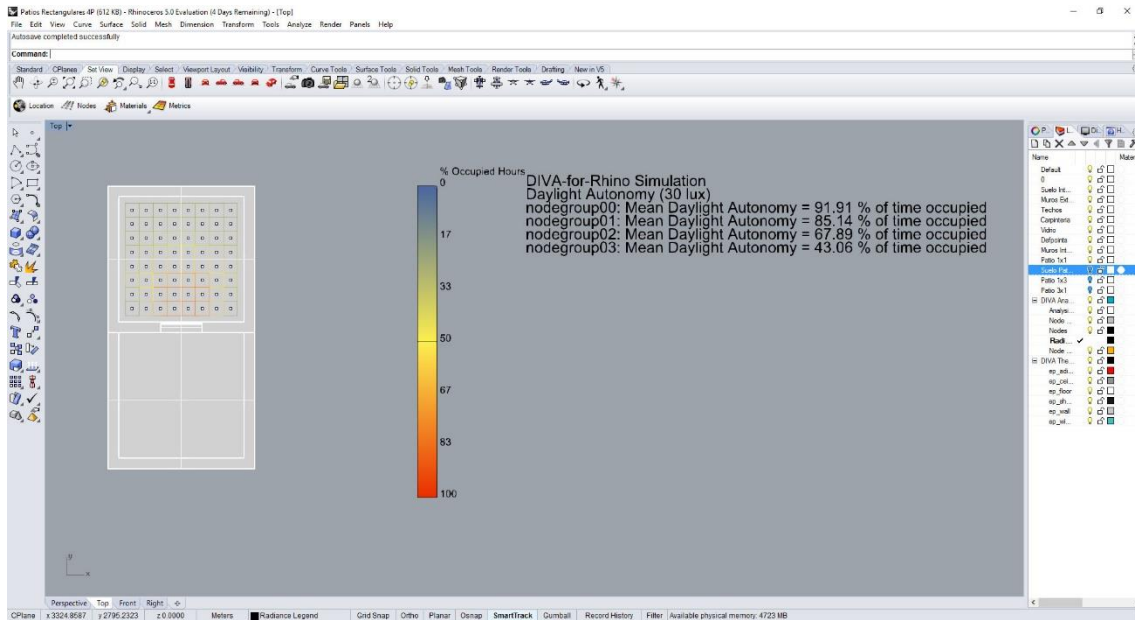


Imagen 21. Patio de 3x3m situado en Córdoba.

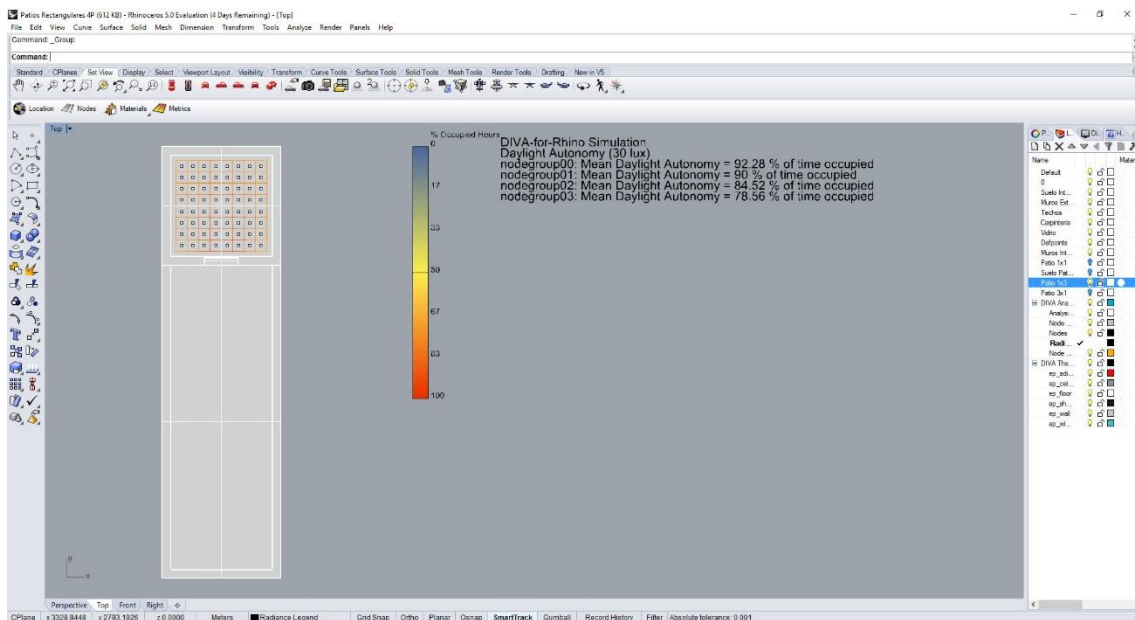


Imagen 22. Patio de 3x9m situado en Córdoba.

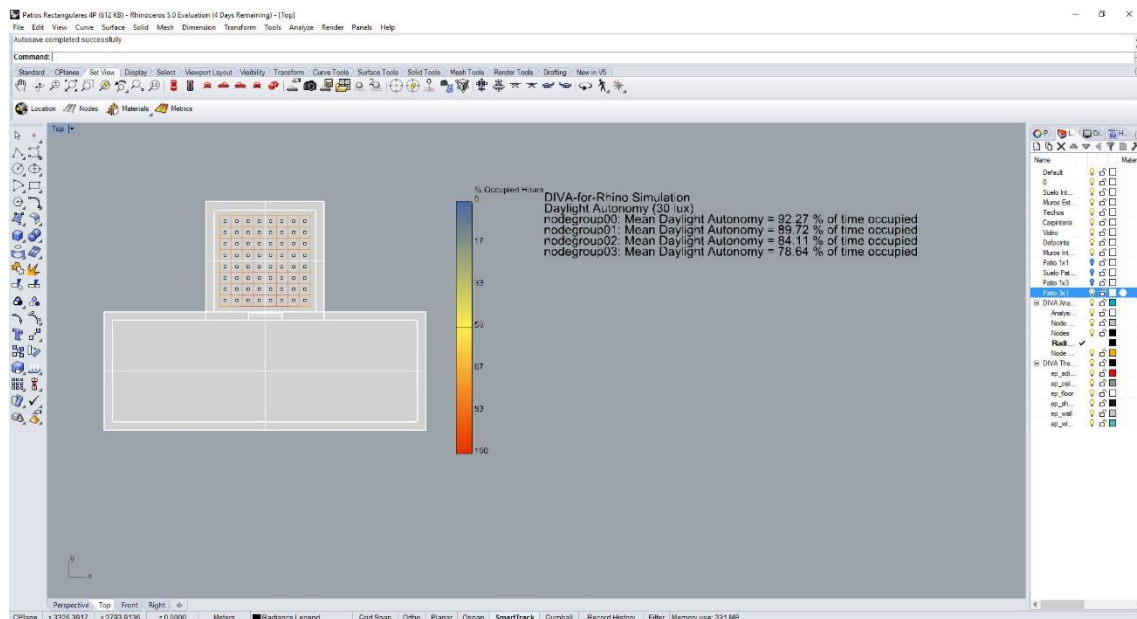


Imagen 23. Patio de 9x3m situado en Córdoba.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	67%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	43%	8	80	80	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	80	80	50	90	3x9
Planta 03	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x9
Planta 02	Cordoba	84%	8	80	80	50	90	3x9
Planta 01	Cordoba	78%	8	80	80	50	90	3x9
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 03	Cordoba	89%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 02	Cordoba	84%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 01	Cordoba	78%	8	80	80	50	90	9x3

Imagen 24. Comparativa entre patios de 3x3 3x9 y 9x3. Niveles de Iluminación

Como podemos ver en la tabla de Excel, los resultados de los patios rectangulares son mucho mejores que los del patio cuadrado. Yo he utilizado una proporción 3:1 y supongo que con una proporción algo menor los resultados serán algo más bajos, pero con una proporción algo mayor los resultados también podrían mejorar un poco.

## Factor de forma (Pacios irregulares).

En el apartado anterior hemos visto como un patio rectangular puede suponer una gran mejora en los niveles de iluminación del patio a pesar de que la normativa no reconoce esta ventaja. En este apartado voy a analizar una situación completamente opuesta: Un patio con una forma irregular, con un diámetro equivalente al de un patio cuadrado, pero con una ventana situada muy cerca de una esquina, algo que seguramente va a reducir el nivel de iluminación en ese local.

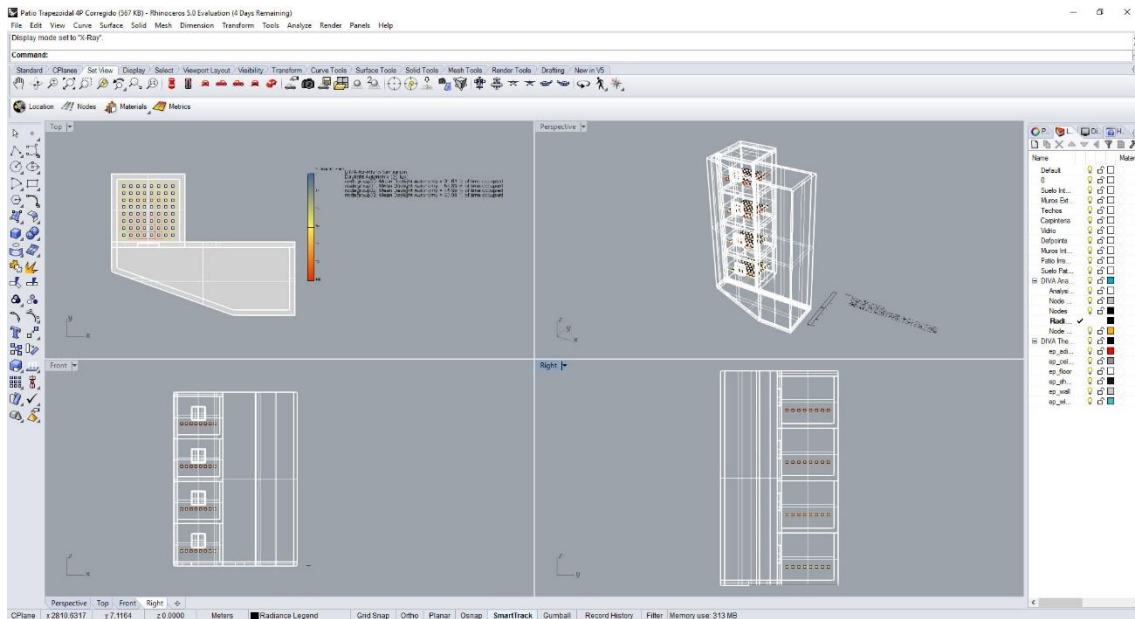


Imagen 25. Patio Trapezoidal situado en Córdoba. Imagen general de la simulación.

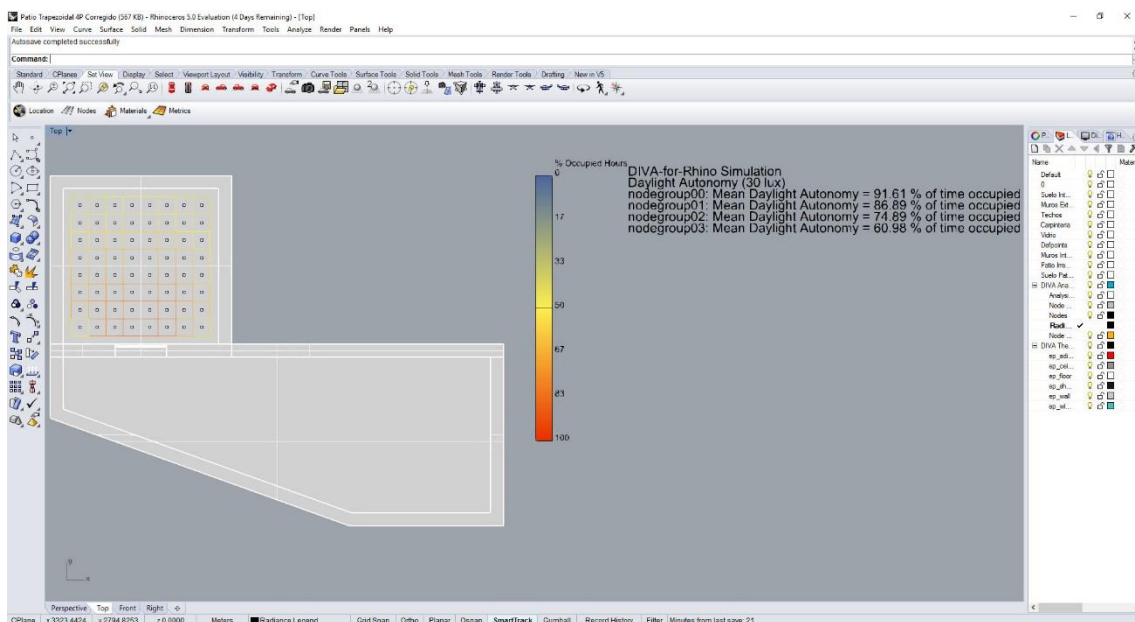


Imagen 26. Patio Trapezoidal situado en Córdoba. Niveles de Iluminación.



	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 03	Cordoba	89%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 02	Cordoba	84%	8	80	80	50	90	9x3
Planta 01	Cordoba	78%	8	80	80	50	90	9x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	ODD
Planta 03	Cordoba	86%	8	80	80	50	90	ODD
Planta 02	Cordoba	74%	8	80	80	50	90	ODD
Planta 01	Cordoba	60%	8	80	80	50	90	ODD

Imagen 27. Comparativa entre patios rectangulares y trapezoidales.

El resultado de esta simulación me ha parecido sorprendente, yo en principio esperaba que los niveles de iluminación fuesen menores que los del patio cuadrado ya que el muro está bastante cerca de la ventana, pero al ser un patio más o menos rectangular el nivel de iluminación se ha quedado en un nivel intermedio entre el cuadrado y el rectángulo.

### Tamaño y factor de forma (Ventanas).

En esta simulación voy a analizar la influencia del tamaño de las ventanas en los niveles de iluminación. Evidentemente mientras mayor sea la ventana mayor será el nivel de iluminación, pero en las simulaciones anteriores hemos visto como la planta baja siempre es la más desfavorable y en ese caso una opción muy buena puede ser la de utilizar una puerta de acceso al patio... Por un lado se mejora la iluminación y por el otro se mejora la accesibilidad al patio.

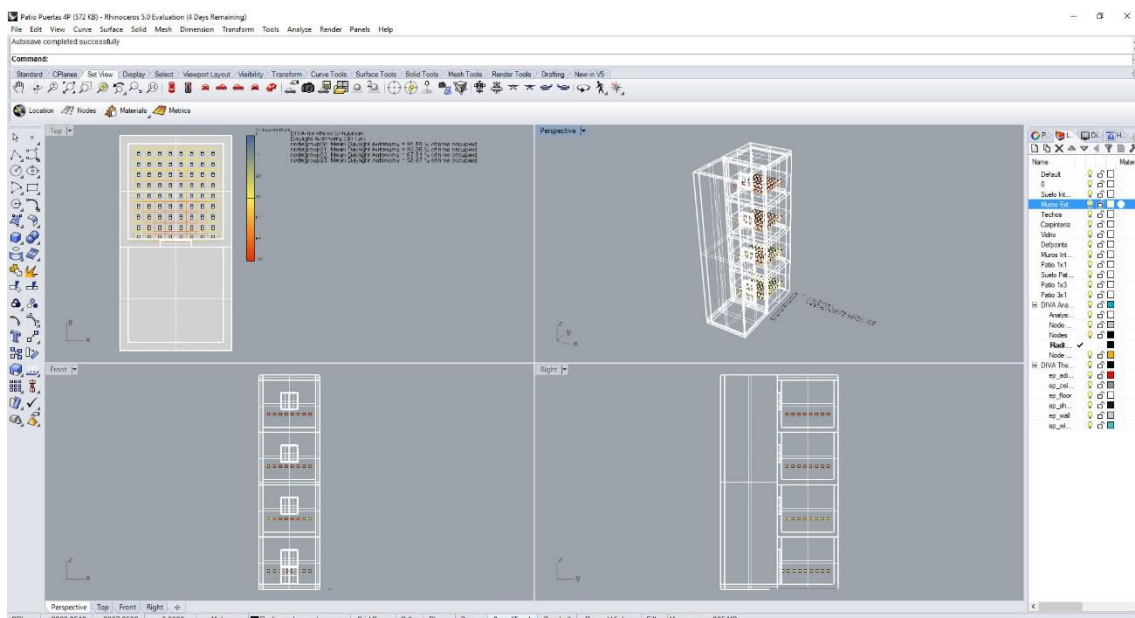


Imagen 28. Patio de 3x3m situado en Córdoba. Imagen general de la simulación.

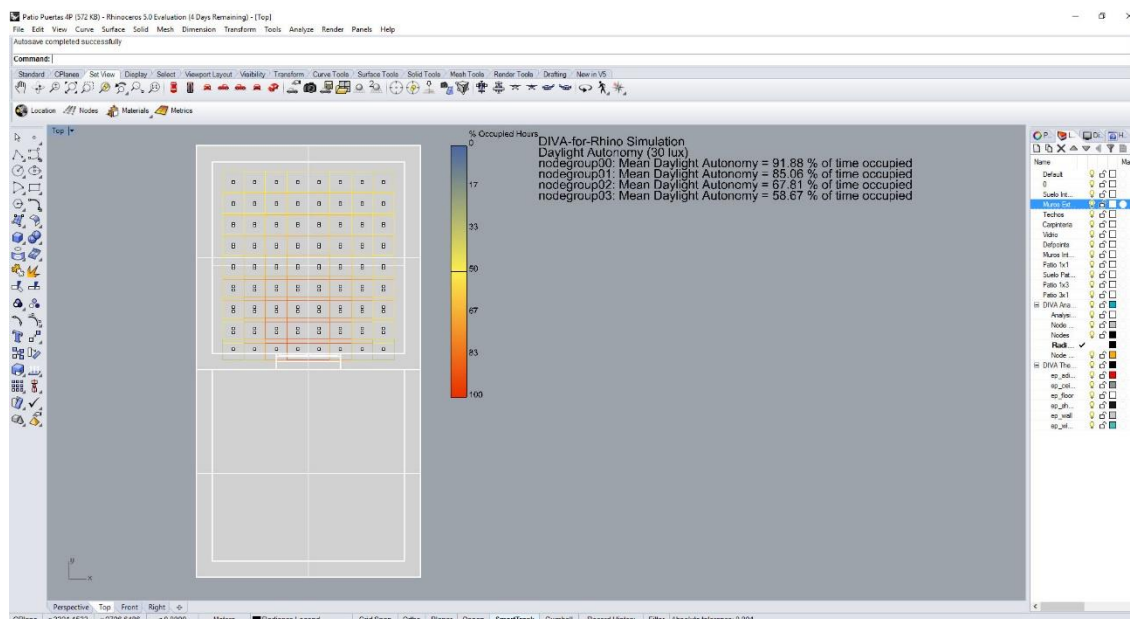


Imagen 29. Patio de 3x3m con acceso al Patio. Niveles de Iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 03	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 02	Cordoba	67%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	43%	8	80	80	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3 + P
Planta 03	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3 + P
Planta 02	Cordoba	67%	8	80	80	50	90	3x3 + P
Planta 01	Cordoba	58%	8	80	80	50	90	3x3 + P

Imagen 30. Comparativa entre ventanas y puertas de acceso al patio.

En esta simulación vemos como la idea de cambiar una ventana por una puerta en los locales de planta baja supone un aumento del 15% en los niveles de iluminación, unas cifras que pueden ser decisivas a la hora de cumplir con la normativa.

## Elementos de cubierta (Barandillas, castilletes y monteras...).

En esta simulación voy a analizar la influencia de algunos elementos situados encubierta y que afectan al nivel de iluminación de los patios. El primero es el diseño de la barandilla, Utilizar una barandilla de acero puede parecer algo desesperado, pero es una solución que funciona. El segundo elemento es el castillete de las cubiertas accesibles. Si el castillete está situado al norte del patio la pared sur funciona como un reflector aumentando el nivel de iluminación en el patio pero si está colocado al sur el efecto es el contrario. El último elemento es una montera de vidrio, una solución muy popular en algunos países Europeos.

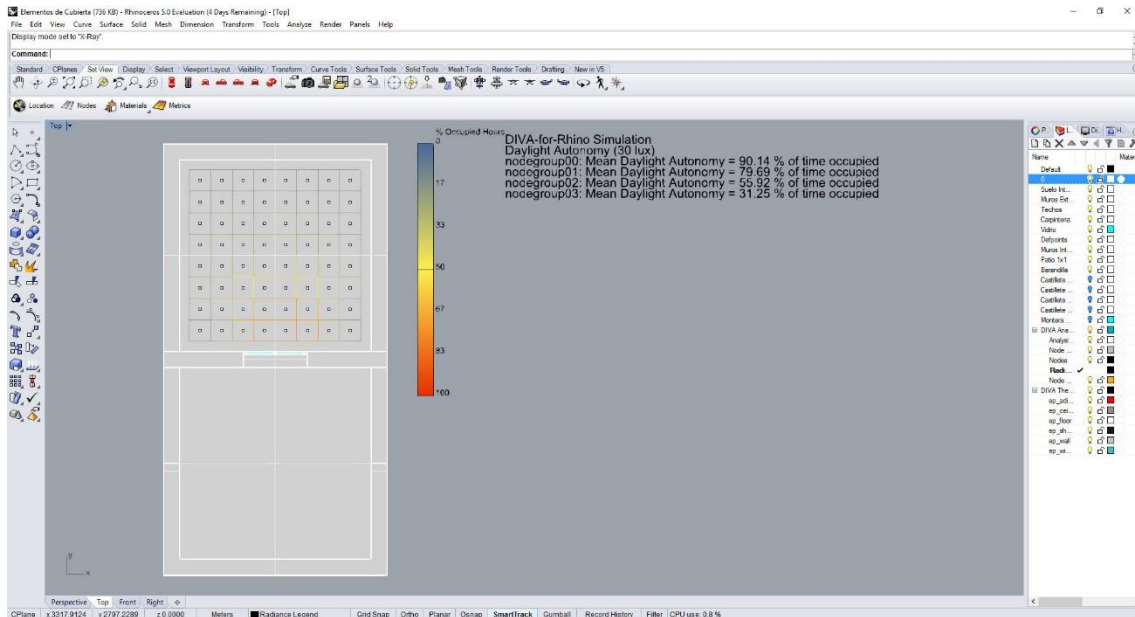


Imagen 31. Patio de 3x3m con barandilla de ladrillo. Niveles de Iluminación.

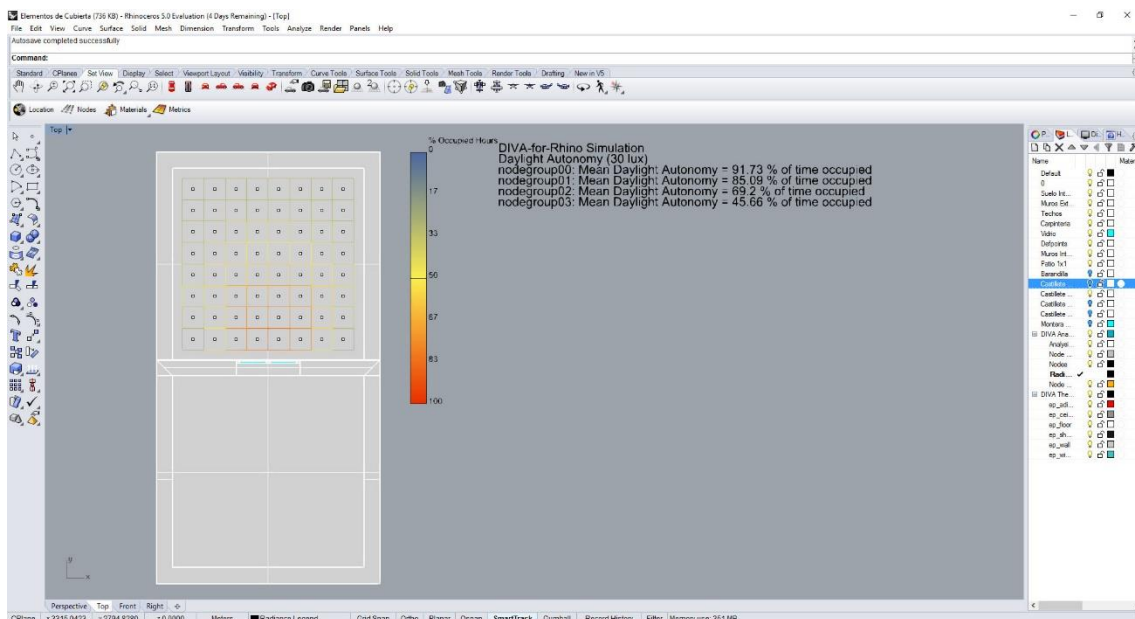


Imagen 32. Patio de 3x3m con Castillete situado al Norte. Niveles de Iluminación.

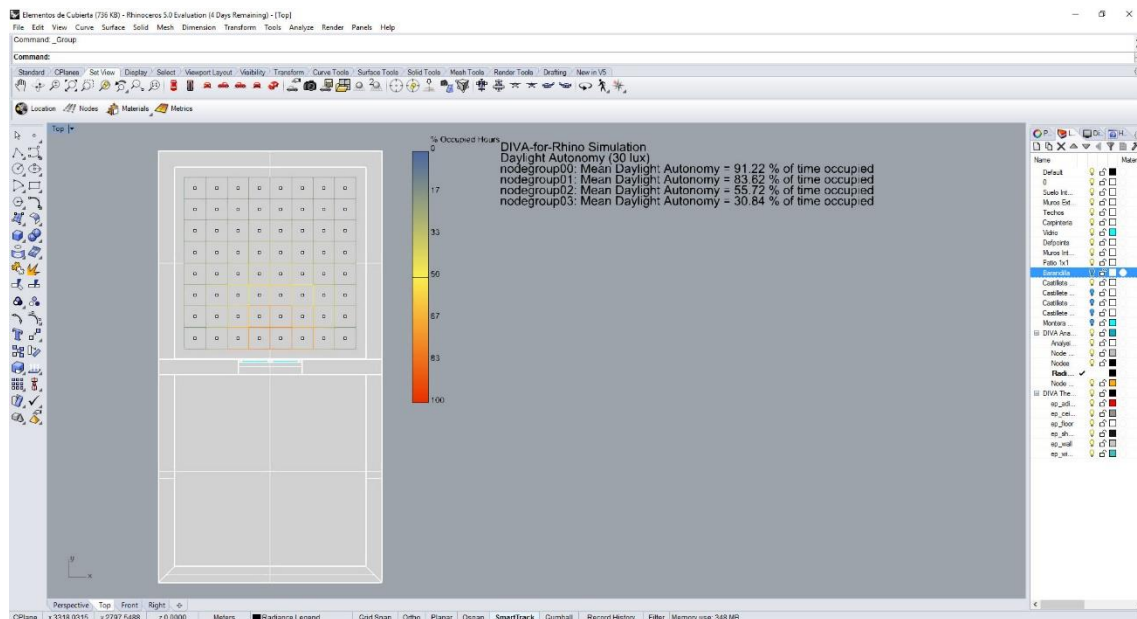


Imagen 33. Patio de 3x3m con Castillete situado al Sur. Niveles de Iluminación.

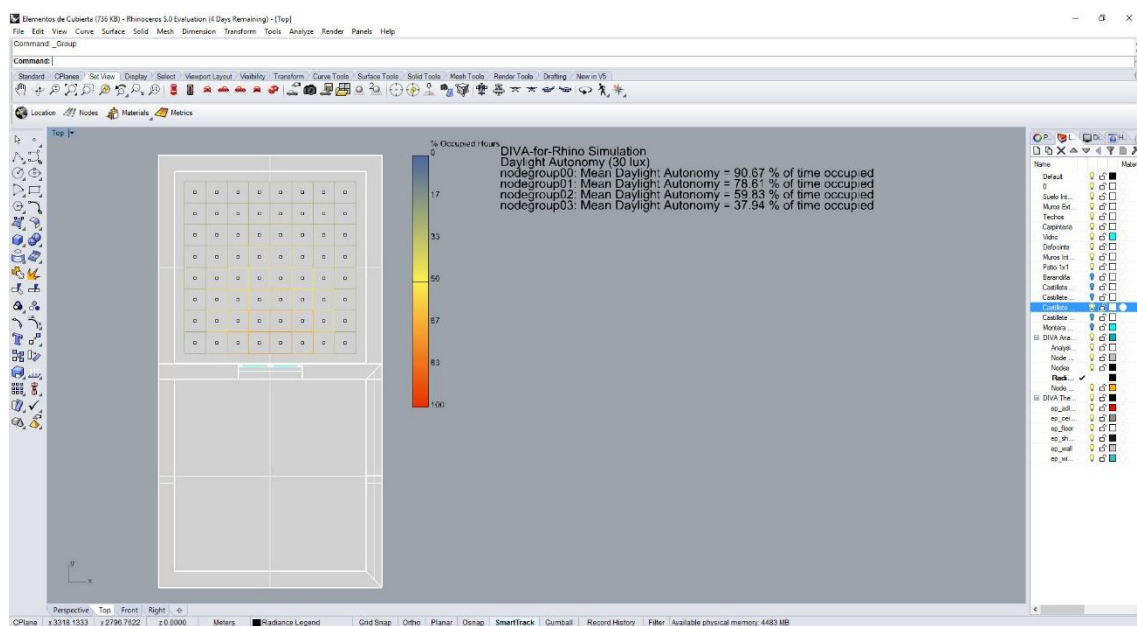


Imagen 34. Patio de 3x3m con Castillete situado al Este. Niveles de Iluminación.



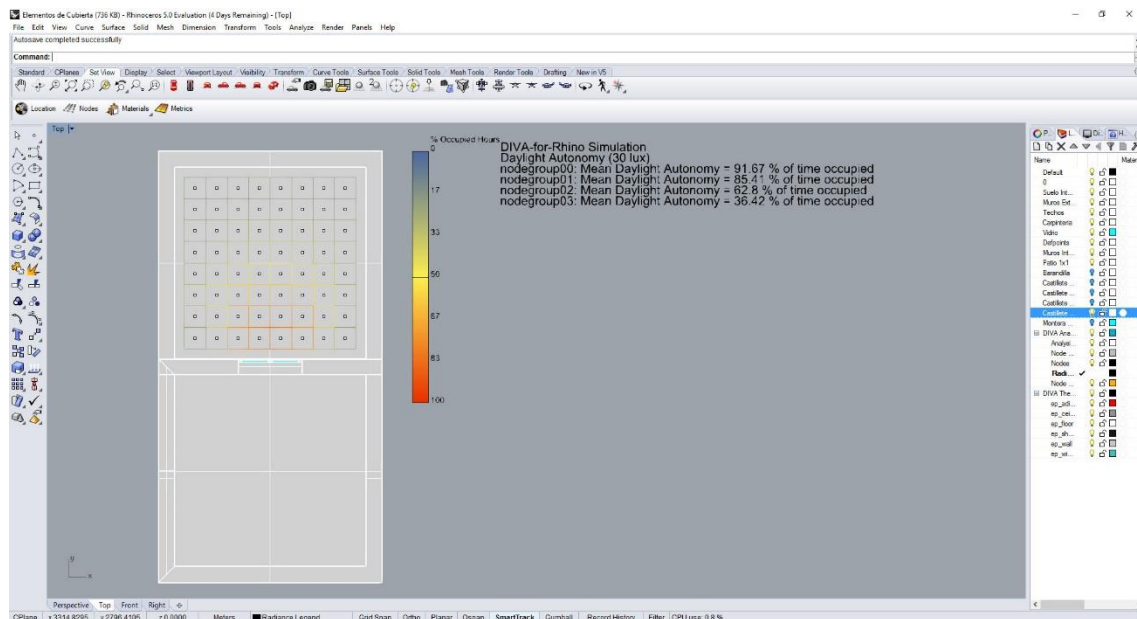


Imagen 35. Patio de 3x3m con Castillete situado al Oeste. Niveles de Iluminación.

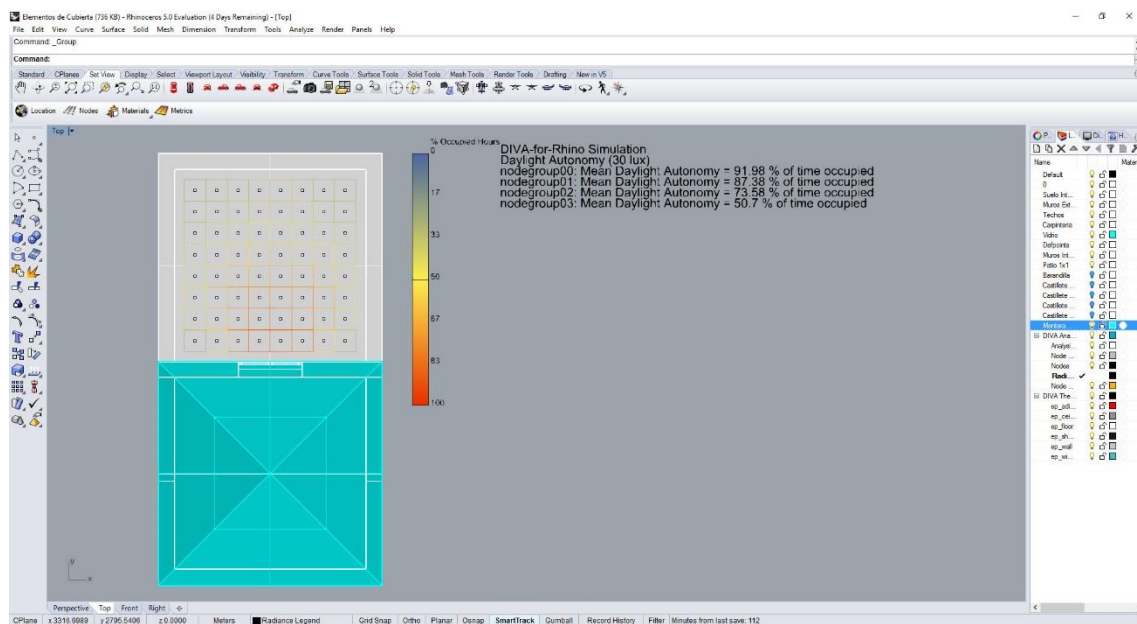


Imagen 36. Patio de 3x3m con Montera de Vidrio. Niveles de Iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x3 + Barandilla
Planta 03	Cordoba	79%	8	80	80	50	90	3x3 + Barandilla
Planta 02	Cordoba	55%	8	80	80	50	90	3x3 + Barandilla
Planta 01	Cordoba	31%	8	80	80	50	90	3x3 + Barandilla
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Norte
Planta 03	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Norte
Planta 02	Cordoba	69%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Norte
Planta 01	Cordoba	45%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Norte
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Sur
Planta 03	Cordoba	83%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Sur
Planta 02	Cordoba	55%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Sur
Planta 01	Cordoba	30%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Sur
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Este
Planta 03	Cordoba	78%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Este
Planta 02	Cordoba	59%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Este
Planta 01	Cordoba	37%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Este
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Oeste
Planta 03	Cordoba	85%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Oeste
Planta 02	Cordoba	62%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Oeste
Planta 01	Cordoba	36%	8	80	80	50	90	3x3 + Castillete Oeste
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	90	80	50	90	3x3 + Montera Vidrio
Planta 03	Cordoba	87%	8	90	80	50	90	3x3 + Montera Vidrio
Planta 02	Cordoba	73%	8	90	80	50	90	3x3 + Montera Vidrio
Planta 01	Cordoba	50%	8	90	80	50	90	3x3 + Montera Vidrio

Imagen 37. Patio de 3x3m con elementos en cubierta. Niveles de Iluminación.

En esta batería de simulaciones se pueden comprobar varias cosas, la primera es que la influencia de la barandilla es relativamente importante (12% de mejora en planta baja...). La segunda es que es que la influencia del castillete funciona tal y como era de esperar, si está situado al norte del patio los niveles de iluminación mejoran un poco (5%), si está situado al sur bloquea la entrada de luz de una forma bastante importante (-10%), y si lo colocamos al este o al oeste el resultado es algo intermedio.

Los resultados de la montera de vidrio también son interesantes. El vidrio reduce un poco la cantidad de luz que entra en el patio, pero yo he supuesto que el interior del patio está un poco más limpio y que la montera protege un poco el estado de la pintura, por lo que el índice de Reflexión puede ser un poco más alto (90% en vez de 80%) y al final este detalle hace que el nivel de iluminación sea mayor.

## Patios abiertos y semi-abiertos a fachada.

En esta simulación voy a analizar el funcionamiento de los patios abiertos a fachada. Este tipo de solución está prohibida en la mayoría de las Normativas Urbanísticas y el motivo es principalmente estético (sobre todo cuando la planta baja está cerrada...), ya que el funcionamiento es mucho mejor que el de un patio cerrado. Lo habitual en muchos casos es crear un paramento con huecos o un muro de celosía que cierra el hueco a la fachada y esta situación también merece la pena ser estudiada.

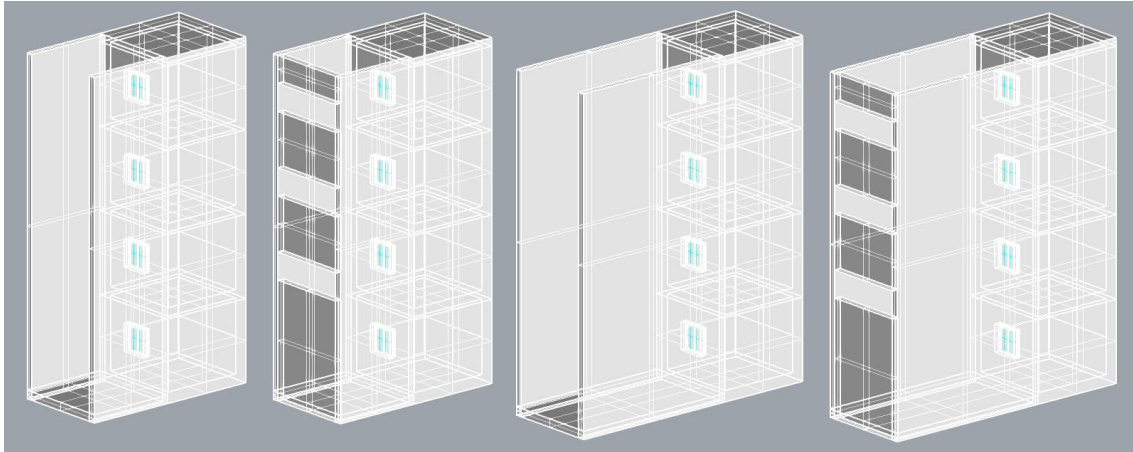


Imagen 38. Patios abiertos a fachada (3x3m y 3x6m).

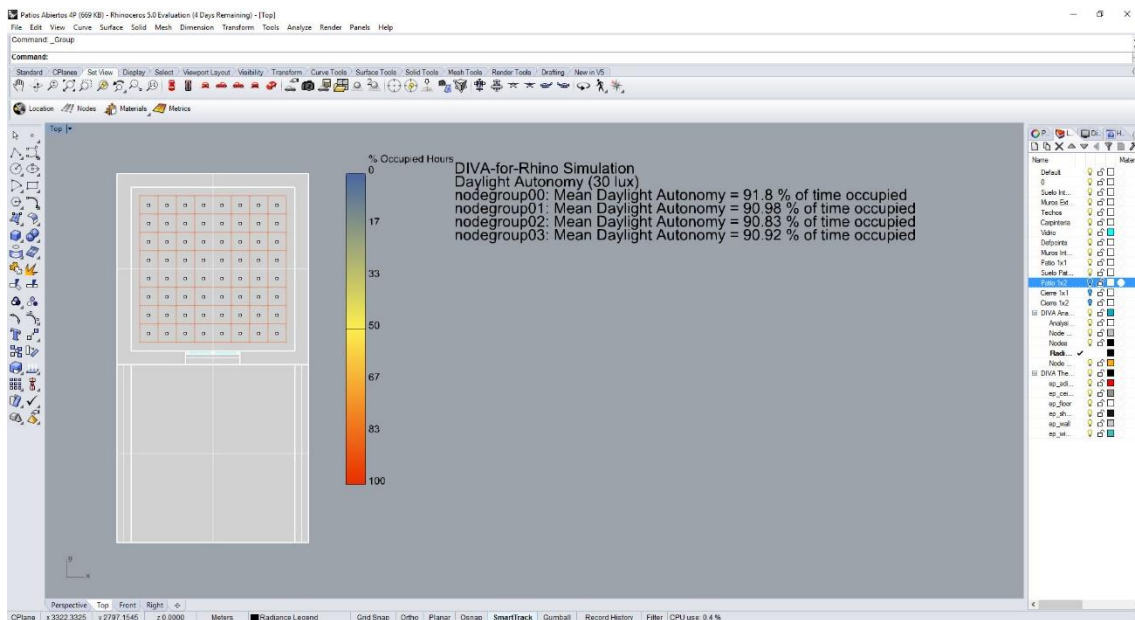


Imagen 39. Patio abierto a fachada (3x3m). Niveles de iluminación.

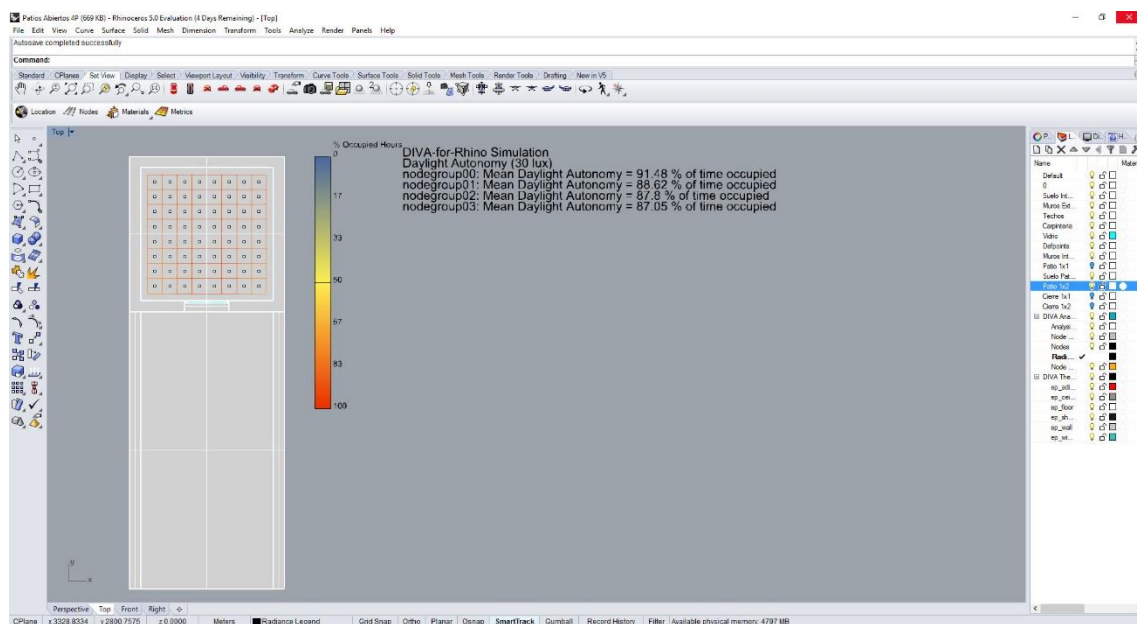


Imagen 40. Patio abierto a fachada (3x6m). Niveles de iluminación.

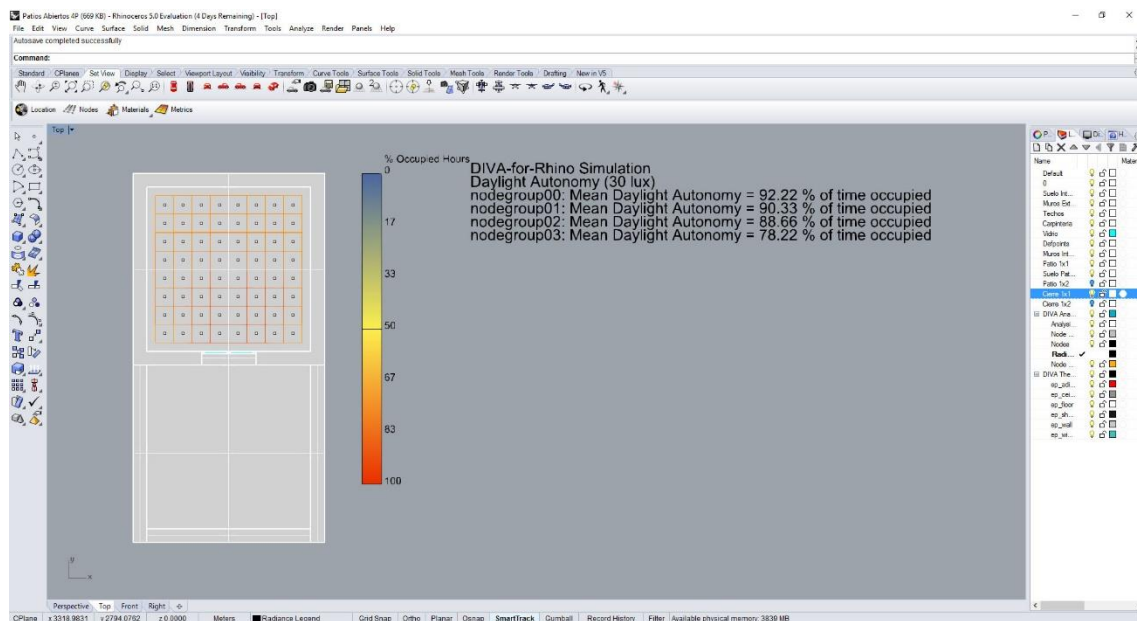


Imagen 41. Patio semi-abierto a fachada (3x3m). Niveles de iluminación.



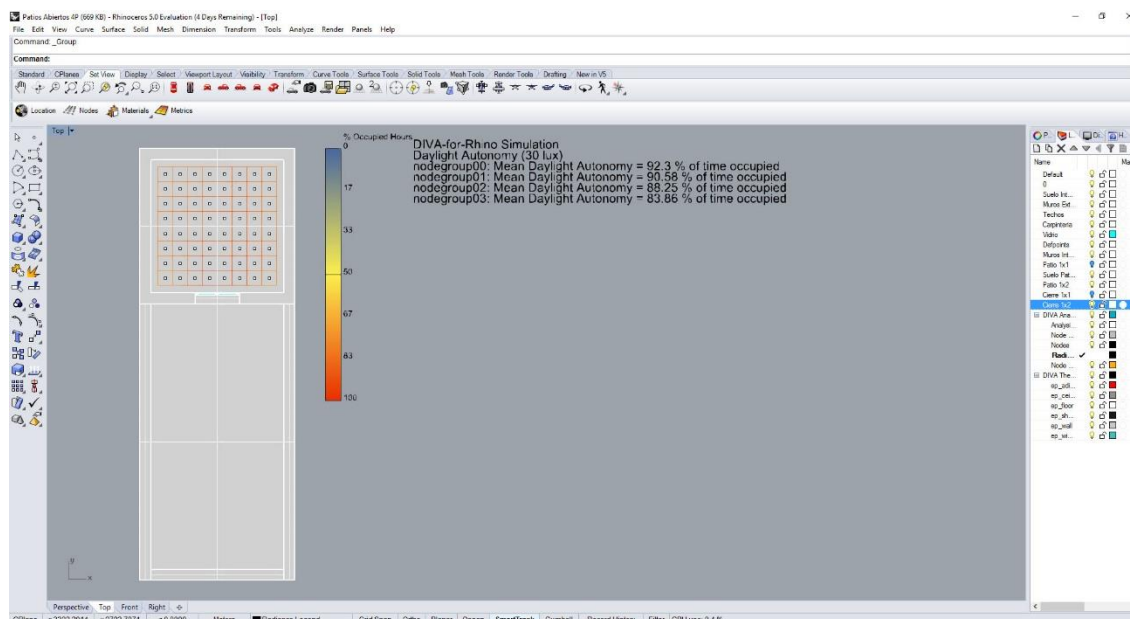


Imagen 42. Patio semi-abierto a fachada (3x6m). Niveles de iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	35	80	50	90	3x3 Abierto
Planta 03	Cordoba	90%	8	35	80	50	90	3x3 Abierto
Planta 02	Cordoba	90%	8	35	80	50	90	3x3 Abierto
Planta 01	Cordoba	90%	8	35	80	50	90	3x3 Abierto
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	91%	8	35	80	50	90	3x6 Abierto
Planta 03	Cordoba	88%	8	35	80	50	90	3x6 Abierto
Planta 02	Cordoba	87%	8	35	80	50	90	3x6 Abierto
Planta 01	Cordoba	87%	8	35	80	50	90	3x6 Abierto
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	80	80	50	90	3x3 Semi-Abierto
Planta 03	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x3 Semi-Abierto
Planta 02	Cordoba	88%	8	80	80	50	90	3x3 Semi-Abierto
Planta 01	Cordoba	78%	8	80	80	50	90	3x3 Semi-Abierto
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 04	Cordoba	92%	8	80	80	50	90	3x6 Semi-Abierto
Planta 03	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x6 Semi-Abierto
Planta 02	Cordoba	88%	8	80	80	50	90	3x6 Semi-Abierto
Planta 01	Cordoba	83%	8	80	80	50	90	3x6 Semi-Abierto

Imagen 43. Patios abiertos a fachada. Niveles de iluminación.

Como podemos ver en las imágenes anteriores los resultados de las simulaciones han sido muy positivos. Los patios Semi-abiertos funcionan mejor de lo que me esperaba en un principio, no tan bien como los abiertos, pero mucho mejor que los cerrados.

## Tamaño mínimo del patio (viviendas unifamiliares).

El Código Técnico y la mayoría de las Normativas Urbanísticas limitan el tamaño mínimo de los patios y el problema en la mayoría de los casos la normativa es bastante dura. En la primera versión del DBHS el tamaño mínimo de los patios era de 4 metros. La norma parecía estar hecha para los grandes edificios de viviendas, pero un patio de 4 metros es tan grande que puede hacer prácticamente imposible diseñar una vivienda unifamiliar entre medianeras. Este apartado del Código Técnico recibió tantas críticas que acabó siendo modificado y ahora el límite ha bajado hasta los 3 metros de diámetro, una cifra que sigue siendo demasiado exigente para algunas viviendas unifamiliares.

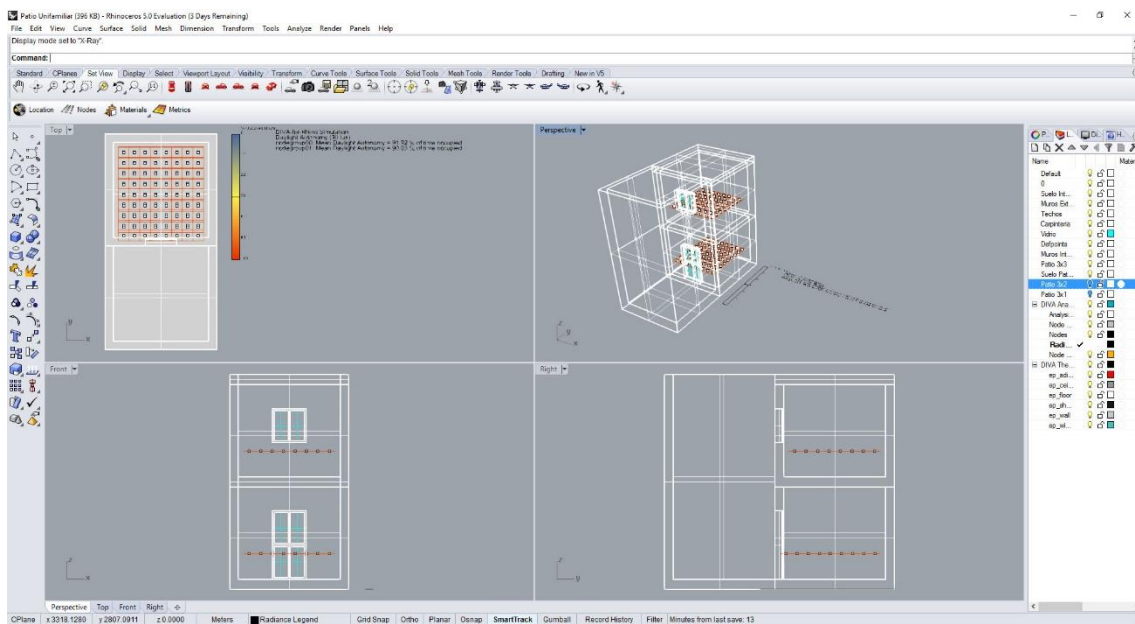


Imagen 44. Patio de 3x3m en Vivienda Unifamiliar de dos plantas.

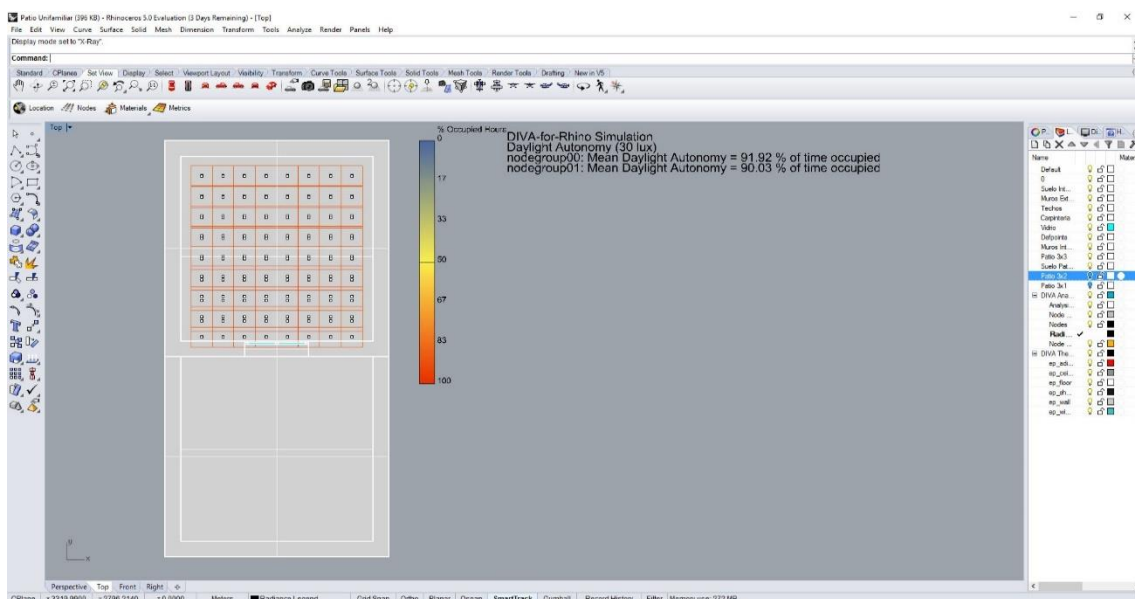


Imagen 45. Patio de 3x3m en Vivienda Unifamiliar. Niveles de iluminación.

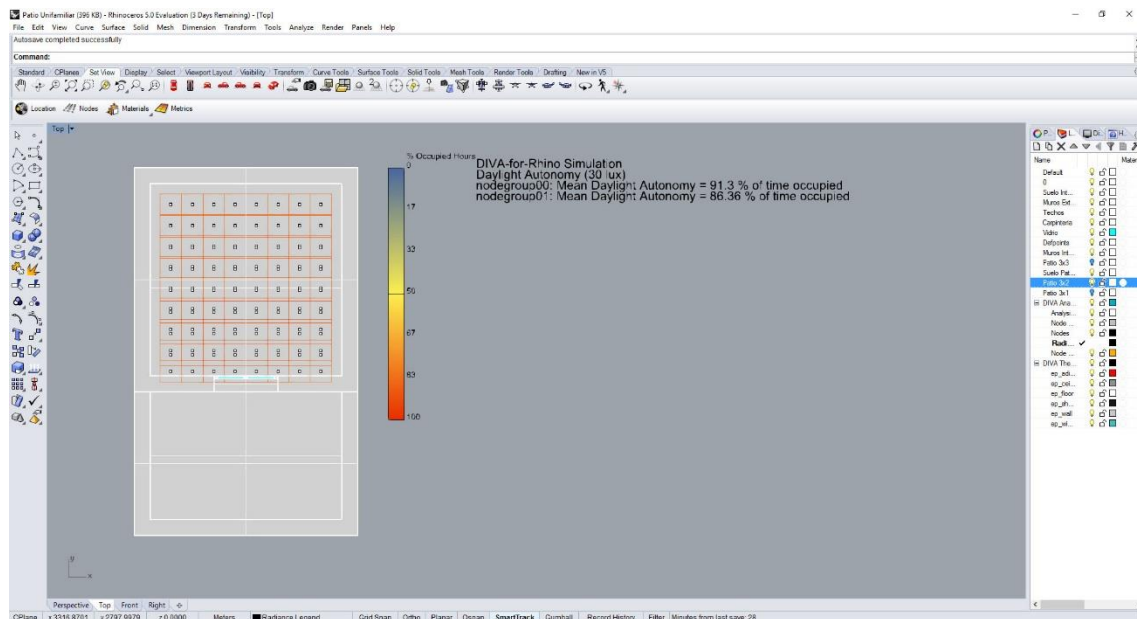


Imagen 46. Patio de 3x2m en Vivienda Unifamiliar. Niveles de iluminación.

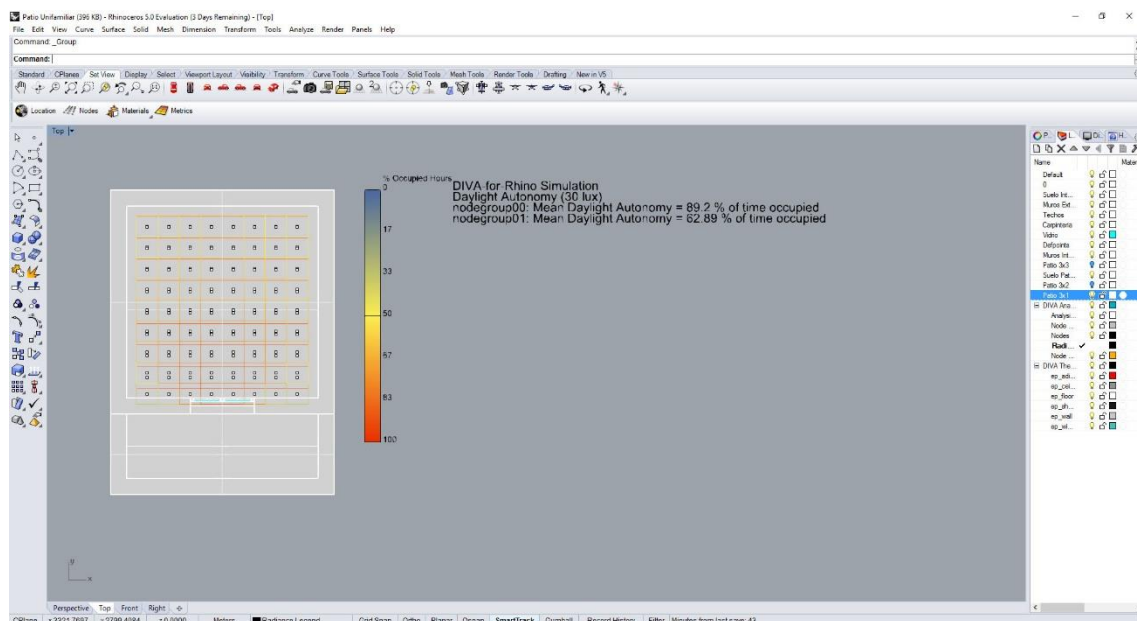


Imagen 47. Patio de 3x1m en Vivienda Unifamiliar. Niveles de iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 02	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x3
Planta 01	Cordoba	90%	8	80	80	50	90	3x3
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 02	Cordoba	91%	8	80	80	50	90	3x2
Planta 01	Cordoba	86%	8	80	80	50	90	3x2
	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Patio
Planta 02	Cordoba	89%	8	80	80	50	90	3x1
Planta 01	Cordoba	62%	8	80	80	50	90	3x1

Imagen 48. Patio de 3x3, 3x2 y 3x1 en Vivienda Unifamiliar. Niveles de iluminación.

Como podemos ver en las imágenes anteriores una vivienda unifamiliar de dos plantas puede mantener un nivel adecuado de iluminación con un patio de unos dos metros, y si estuviésemos hablando de una vivienda con una sola planta el patio podría ser incluso más pequeño, algo que puede ser de gran utilidad en parcelas muy estrechas.

Un dato que me resulta muy curioso es que en Nueva Zelanda la normativa sobre Iluminación Natural no es obligatoria en las viviendas unifamiliares siempre que cumplan con unos requisitos mínimos, pero hay que tener en cuenta que allí la mayoría de la población vive en viviendas unifamiliares aisladas, por lo que no tienen ningún problema. En España la situación es prácticamente la opuesta... La mayoría de las viviendas unifamiliares están situadas entre medianeras y la creación de una Normativa moderna, basada en datos climáticos supondría una gran ventaja, ya que los arquitectos tendríamos muchísima más libertad a la hora de realizar los diseños.



## 5.0 Iluminación vs privacidad.

En los apartados anteriores he realizado un estudio sobre la iluminación de los patios de viviendas, ya que en la mayoría de los casos van a ser el punto más desfavorable del edificio. Otra situación problemática suele ser la de las viviendas situadas en planta baja en contacto con el acerado de la vía pública. En este tipo de casos los usuarios se ven obligados a elegir entre la iluminación natural y la privacidad de la vivienda.

En algunos países del norte de Europa esto no supone ningún problema (no utilizan persianas...) y por lo tanto se puede decir que estamos ante un problema que afecta de manera distinta a cada cultura (Católicos vs Protestantes...), pero en España la mayoría de la gente le da prioridad a la privacidad y es por eso que los arquitectos debemos ofrecer una solución que tenga en cuenta los dos factores: Iluminación y privacidad. Las soluciones más habituales suelen ser elevar el forjado de la planta baja, consiguiendo que el punto de vista del viandante quede por debajo del alfeizar de la ventana, o utilizar ventanas más altas de lo habitual, con una celosía que proteja la ventana hasta una altura de unos dos metros y que debe incluirse en el cálculo.

Para demostrar la existencia de este problema he realizado un pequeño experimento con varios locales situados en planta baja. El forjado está situado a la misma cota que el acerado y la altura de la ventana es completamente estándar, por lo que estamos en la típica situación en la que el usuario se ve obligado a utilizar una persiana, una veneciana o una celosía que cubra toda la superficie de la ventana.

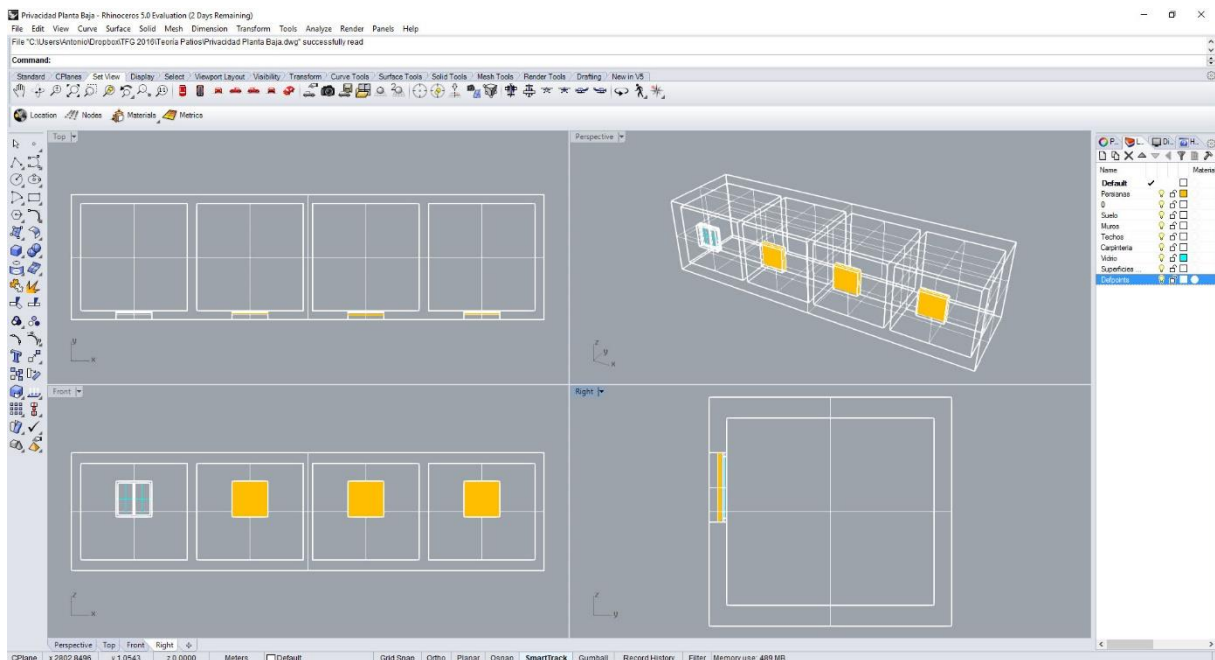


Imagen 49. Locales situados en planta baja protegidos con persianas, lamas y celosías.

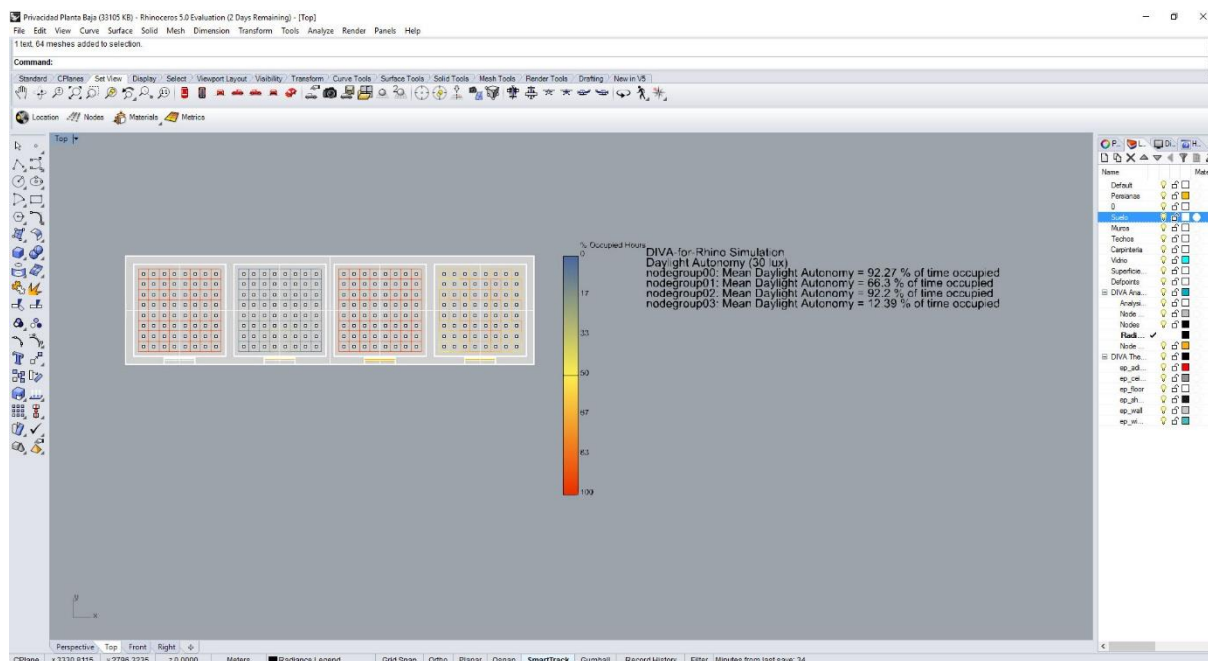


Imagen 50. Locales situados en planta baja. Niveles de iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Proteccion
P. Baja	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Ninguna
P. Baja	Cordoba	12%	8	70	70	50	90	Persiana
P. Baja	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Veneciana
P. Baja	Cordoba	66%	8	70	70	50	90	Celosia

Imagen 51. Locales situados en planta baja. Niveles de iluminación.

Como podemos ver en los resultados de la simulación, las persianas limitan muchísimo el nivel de iluminación de las viviendas situadas en planta baja y hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos esta es la única protección que tienen los usuarios. Las celosías funcionan un poco mejor, pero aun así el nivel de iluminación sigue siendo bastante bajo. Las venecianas sin embargo consiguen un resultado bastante bueno, aunque el resultado va a depender mucho del material del que estén hechas y de la inclinación de las lamas.

## 6.0 Normativa propuesta (CTE DB HE6)

Después de realizar una investigación muy completa y sobre todo después de comprobar cómo funcionan los programas de cálculo he llegado a la conclusión de que la normativa de Nueva Zelanda es un ejemplo a seguir debido a su sencillez y a su facilidad a la hora de realizar el proceso de cálculo. Por lo tanto yo propongo una normativa muy similar en la que el nivel de iluminación exigido es prácticamente el mismo, pero con algunas modificaciones en los parámetros de cálculo: Plano de trabajo, horarios de uso, eliminación del método simplificado y una pequeña cláusula para garantizar la privacidad de la vivienda

La alternativa a esta normativa sería crear un sistema de calificación similar al que se utiliza en sistema LEED V4, o una adaptación de la normativa IES LM-83. El problema en estos casos es que el método de cálculo es mucho más complejo, ya que se está teniendo en cuenta la influencia de las protecciones solares móviles. En España las situaciones más desfavorables se dan siempre en el interior de los patios y en este caso la entrada de la radiación solar directa nunca supone un problema, por lo que tampoco tiene mucho sentido utilizar un método tan complejo en una situación en la que predomina la iluminación solar difusa.

La normativa propuesta por lo tanto sería la siguiente:

**1.1 Objetivo de la norma.** El objetivo de esta norma es asegurar la salud y el bienestar de la población, garantizando el acceso a una iluminación natural adecuada y a la visión del espacio exterior a la vivienda.

**1.2 Requerimientos Funcionales.** Los espacios habitables deberán disponer de una ventana que garantice un nivel mínimo de iluminación y una visión adecuada del exterior.

**1.3 Rendimiento.** La iluminación natural debe proporcionar un nivel de iluminación superior a 30 Lux durante el 70% del año”.

La normativa será de aplicación en todos los edificios de viviendas y no incluye establecimientos hoteleros, apartamentos turísticos o residencias de ancianos. Las viviendas unifamiliares están incluidas dentro de esta normativa y no se aplica ningún método simplificado ya que esta normativa beneficia claramente a este tipo de viviendas.

El nivel de iluminación se medirá en un plano de trabajo situado a 75cm del suelo.

El horario de uso de la vivienda debe incluir todas las horas de luz del día (8am-8pm)

Dentro de la vivienda se consideran espacios habitables a la zona de estar, la cocina, el comedor y los dormitorios. Las zonas de ocupación esporádica como los pasillos, los distribuidores, los baños y el interior de los armarios no se tienen en cuenta para el cálculo.

El cálculo de los niveles de iluminación debe realizarse con un programa homologado por el Ministerio de Fomento. (Daysim, Dialux, Diva for Rhino, Lightsolve, Radiance, Velux...).

Los archivos climáticos y los coeficientes de reflexión para materiales de construcción deben descargarse desde la página oficial del Ministerio de Fomento.

## 7.0 Casos prácticos.

El funcionamiento de la normativa propuesta se va a poner en práctica utilizando tres ejemplos: El primero es la casa Azuma de Tadao Ando y en este caso el objetivo es analizar el tamaño mínimo admisible de un patio. Los edificios de viviendas que analizo a continuación son mucho más modestos, pero creo que son representativos de la arquitectura que vemos en la mayoría de las ciudades y su análisis va a servir para comprobar las diferencias entre un edificio con planta abierta y un edificio con patios.

### 7.1 Vivienda unifamiliar. Casa azuma.

La casa Azuma es una de las obras más famosas del arquitecto Japonés Tadao Ando. Es una vivienda de pequeñas dimensiones construida en Osaka, en una parcela 3.90m x 14.25m. En Japón las viviendas no suelen compartir muros en común, pero la separación entre viviendas es tan pequeña que en la práctica el resultado es el mismo que el de una vivienda entre medianeras. Las ventanas abiertas en los muros laterales solo sirven como apertura de ventilación y por lo tanto la iluminación de la vivienda depende principalmente de la luz del patio.

El patio principal de la casa Azuma tiene unas dimensiones de 3.15m x 4.70m en la planta superior, pero dentro del patio existe una escalera y una pasarela que comunica las dos partes de la casa por lo que en planta baja el patio queda reducido a unas dimensiones de 1.05m x 4.70m. Los patios rectangulares funcionan mejor que los rectangulares, pero si aplicamos la normativa de una manera estricta el patio tiene un diámetro mínimo de 1.05 metros.



Imagen 52. Casa Azuma. Fuente: <http://www.disenoyarquitectura.net/2012/11/casa-azuma-de-tadao-ando.html>

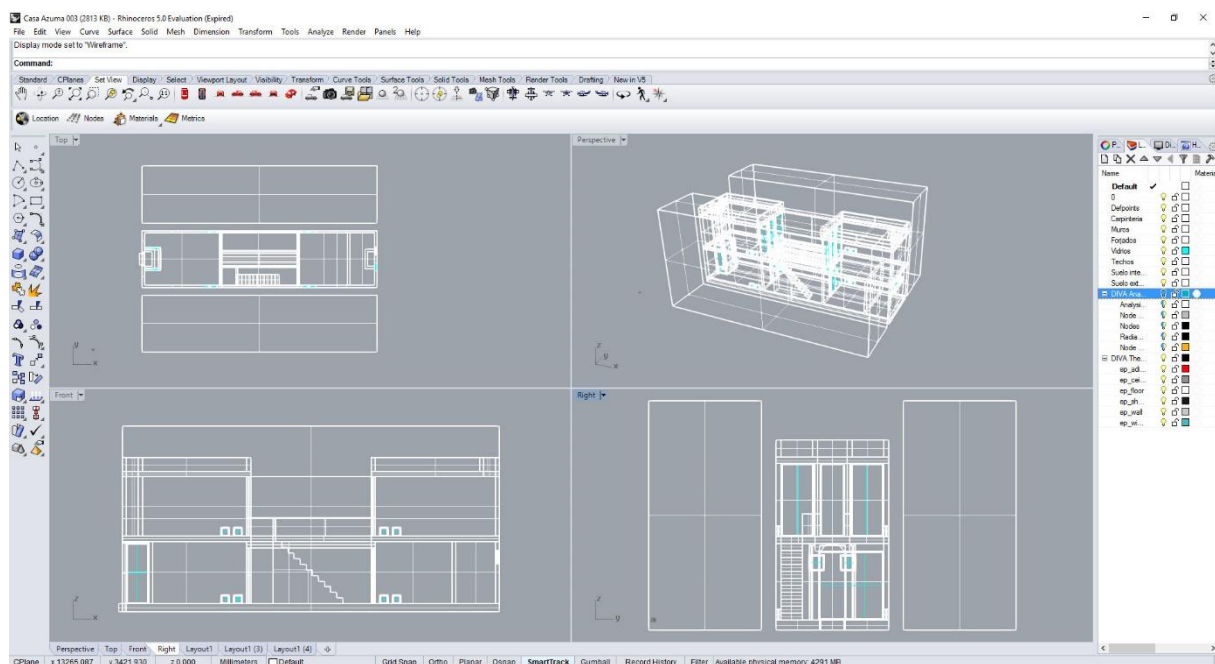


Imagen 53. Casa Azuma. Modelo 3D.

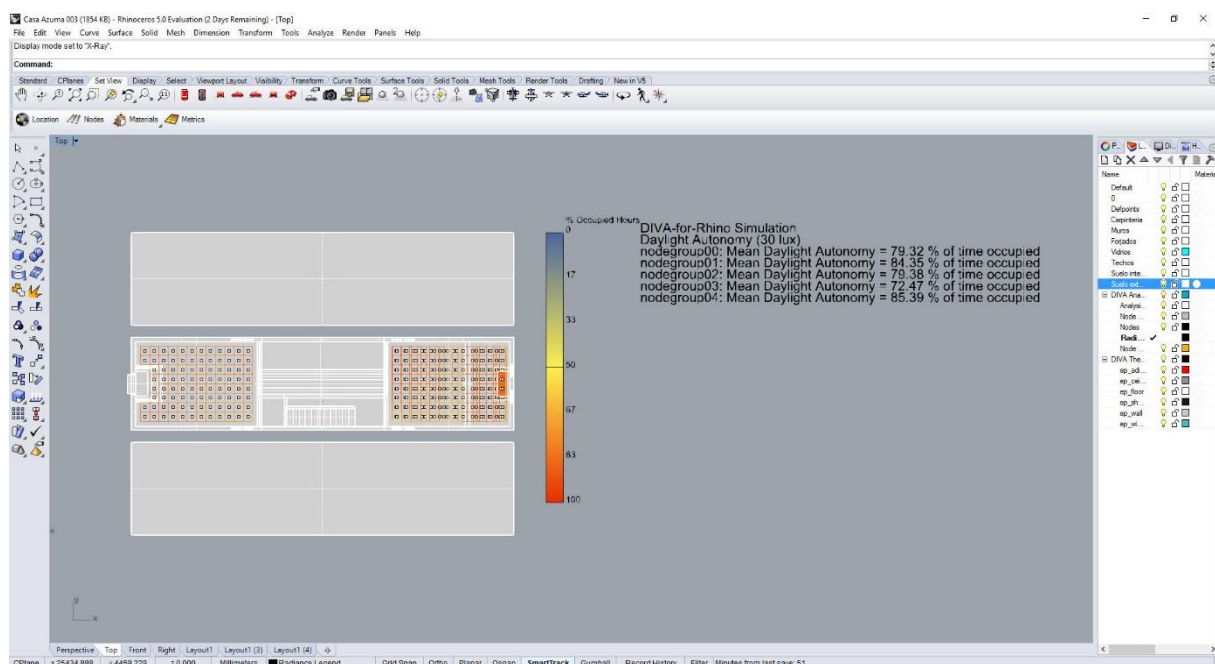


Imagen 54. Casa Azuma. Niveles de Iluminación.

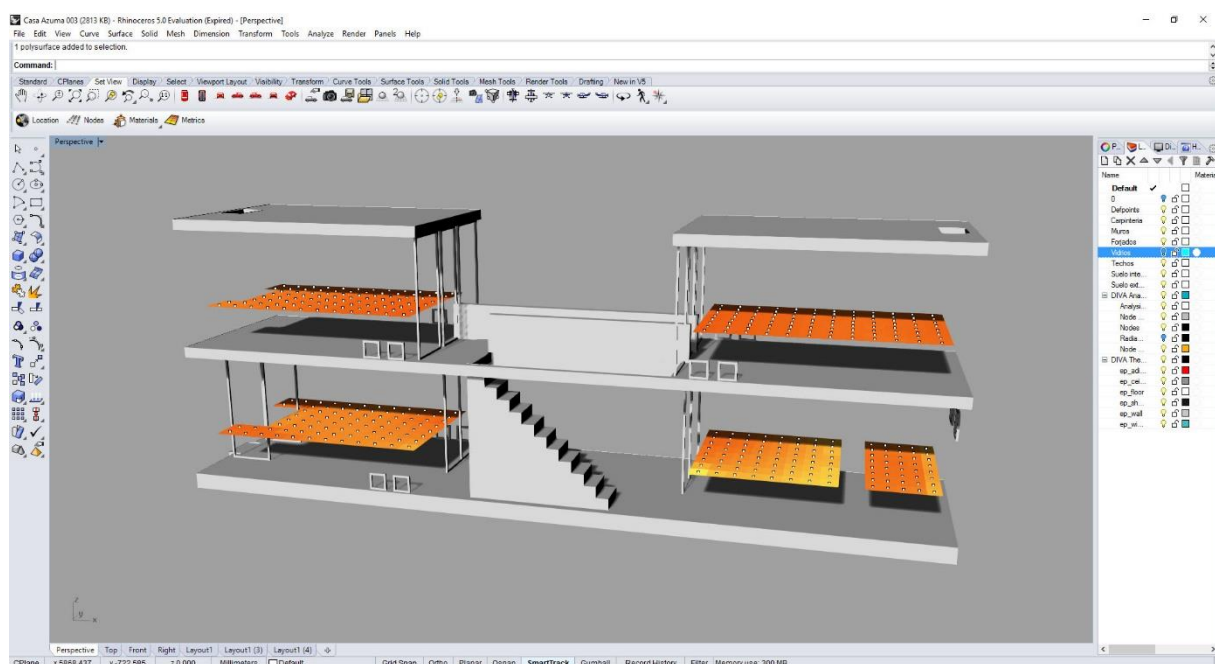


Imagen 55. Casa Azuma. Niveles de Iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Habitación
Planta 02	Osaka	84%	8	50	50	20	50	Dormitorio W
Planta 02	Osaka	85%	8	50	50	20	50	Dormitorio E
Planta 01	Osaka	79%	8	50	50	20	50	Baño
Planta 01	Osaka	72%	8	50	50	20	50	Cocina
Planta 01	Osaka	79%	8	50	50	20	50	Salon

Imagen 56. Casa Azuma. Resultados de la simulación.

Como podemos ver en la tabla de Excel y en las imágenes anteriores la Casa Azuma tiene unos niveles de iluminación aceptables y podrían haber sido mucho más altos si se hubiesen utilizado unos materiales de construcción con unos índices de reflexión más elevados, ya que toda la vivienda está fabricada con muros de hormigón visto, pero lo importante en este caso era demostrar que un patio “atípico” puede tener un buen funcionamiento a pesar de que no cumpla de manera estricta con las normativas.

En España las ciudades se dividen normalmente en dos zonas: cascos antiguos y periferia. Dentro de los cascos antiguos predominan las viviendas situadas entre medianeras y en muchos casos las parcelas tienen muchísima profundidad y formas completamente irregulares. En este tipo de situaciones las Normativas Urbanísticas clásicas limitan el tamaño mínimo de los patios de una manera muy simplista y esto supone un gran inconveniente desde el punto de vista del Arquitecto. Una normativa basada en el funcionamiento real del patio permitiría crear patios con formas irregulares, patios que se adaptan mucho mejor a este tipo de parcelas y que facilitan el diseño de las viviendas entre medianeras.



## 7.2 Edificios de viviendas.

El primer edificio de viviendas que voy a analizar está situado en Córdoba, en la calle Juan de Vacas (Junto al Corte Ingles), es un edificio con de 24 viviendas de protección oficial situado en una parcela aislada y construido por la empresa municipal Vimcorsa. La tipología del edificio es la del clásico “Bloque en H” con cuatro viviendas por planta y por lo tanto no existen patios de luces.

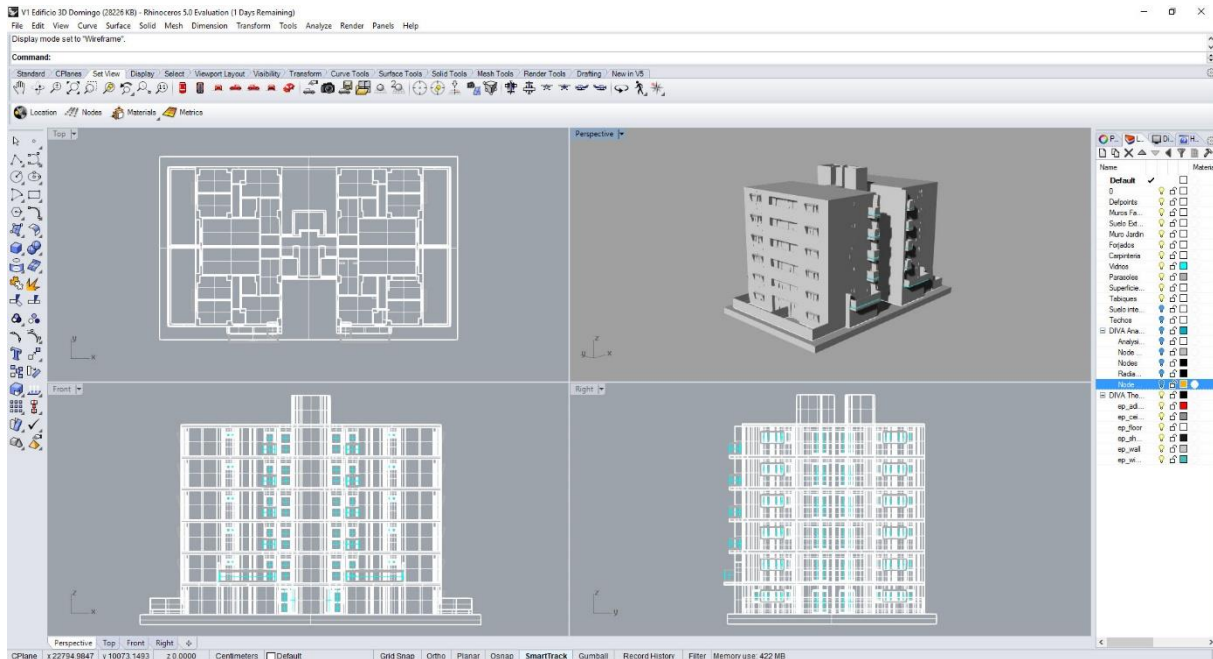


Imagen 57. Edificio N°1. Planta y alzados.

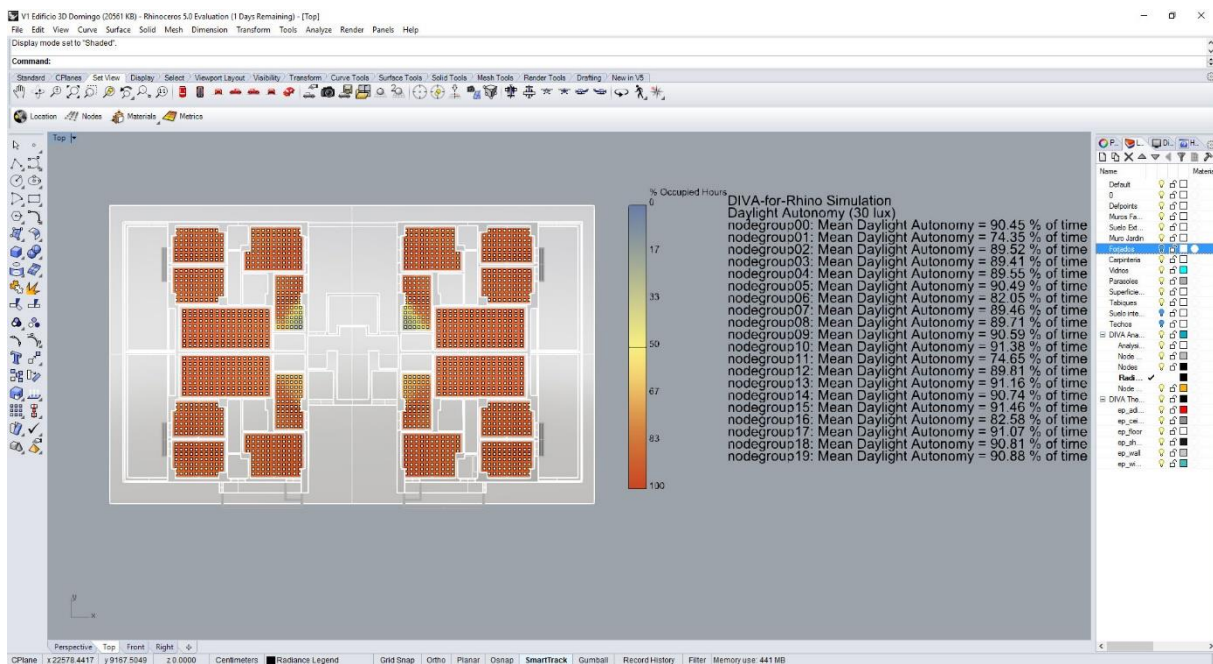


Imagen 58. Edificio N°1. Niveles de Iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Habitación
P1 V1	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 01
P1 V1	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 02
P1 V1	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 03
P1 V1	Cordoba	74%	8	35	70	50	90	Cocina
P1 V1	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Salon
P1 V2	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 01
P1 V2	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 02
P1 V2	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Dormitorio 03
P1 V2	Cordoba	82%	8	35	70	50	90	Cocina
P1 V2	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Salon
P1 V3	Cordoba	89%	8	35	70	50	90	Dormitorio 01
P1 V3	Cordoba	91%	8	35	70	50	90	Dormitorio 02
P1 V3	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Dormitorio 03
P1 V3	Cordoba	74%	8	35	70	50	90	Cocina
P1 V3	Cordoba	91%	8	35	70	50	90	Salon
P1 V4	Cordoba	91%	8	35	70	50	90	Dormitorio 01
P1 V4	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Dormitorio 02
P1 V4	Cordoba	90%	8	35	70	50	90	Dormitorio 03
P1 V4	Cordoba	82%	8	35	70	50	90	Cocina
P1 V4	Cordoba	91%	8	35	70	50	90	Salon

Imagen 59. Edificio N°1. Resultados de la simulación.

En este caso las viviendas situadas en planta baja disponen de un pequeño espacio exterior propio separado del resto de la parcela mediante un muro por lo que se puede decir que la privacidad de las viviendas está muy bien conseguida, aunque es cierto que existen un par de dormitorios junto a la zona de entrada que van a tener algunos problemas.

Todas las plantas del Edificio son iguales y por lo tanto yo me he limitado a analizar a la más desfavorable, aun así el tiempo de cálculo para una sola planta ha estado en torno a las dos horas y media. El cálculo completo de todo el edificio habría estado en torno a las 15 horas y hay que tener en cuenta que estamos utilizando un método muy simple. Como podemos ver en la tabla de Excel todas las habitaciones están por encima del nivel exigido y por lo tanto el edificio cumpliría con la normativa propuesta, una normativa que en principio es bastante fácil de superar, sobre todo para los locales con acceso a una fachada exterior del edificio.



El segundo edificio de viviendas que voy a analizar también está situado en Córdoba, en la calle José Aguilar de Dios (Junto al Corte Inglés) y en este caso estamos otra vez ante un edificio de Protección Oficial construido por la empresa municipal de la vivienda (Vimcorsa.).

El edificio es de tipo lineal y tiene seis plantas, veinte viviendas por planta, cuatro patios interiores y dos patios abiertos a fachada. El edificio tiene un diseño modular y por lo tanto no es necesario analizarlo por completo. Los patios abiertos a fachada siempre van a funcionar mejor que los patios interiores y por lo tanto el análisis va a centrarse en un módulo de cuatro viviendas situadas en torno a un patio interior.



Imagen 60. Edificio N°2. Fachada Oeste. Fuente: <http://www.vimcorsa.com>

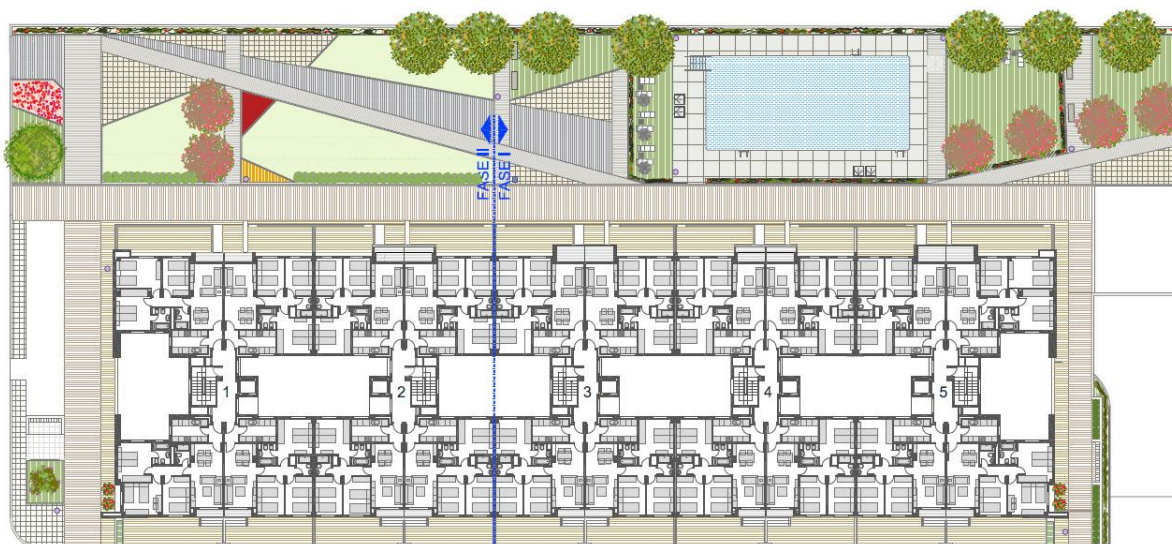


Imagen 61. Edificio N°2. Planta Tipo. Fuente: <http://www.vimcorsa.com>

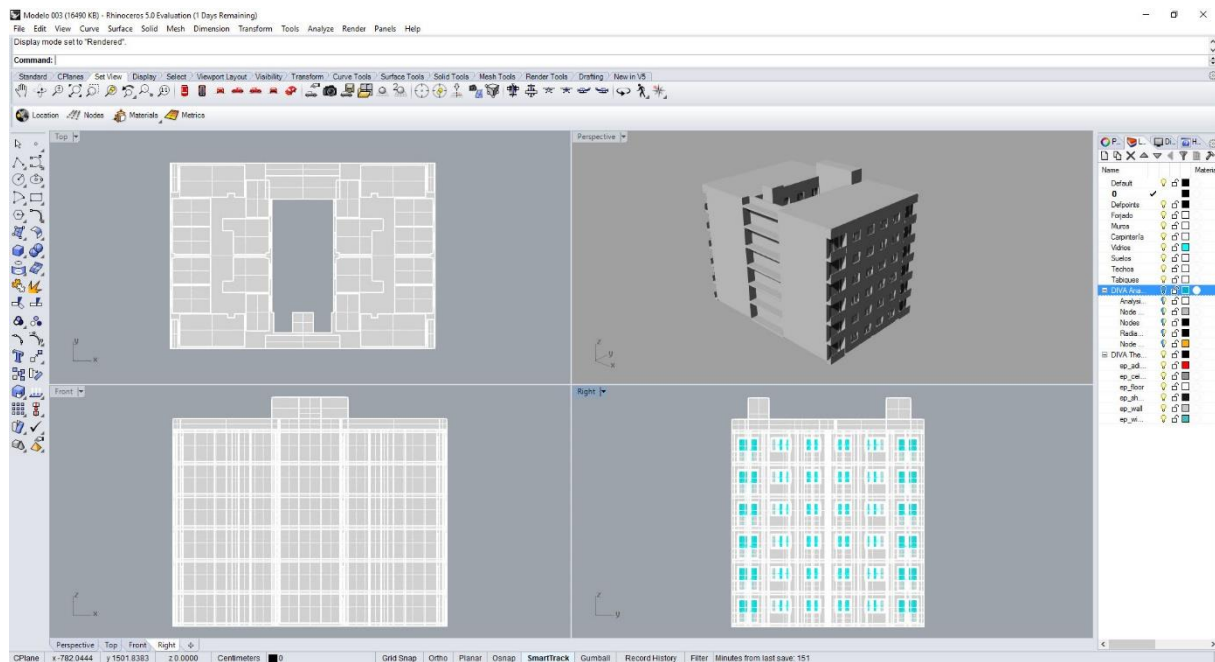


Imagen 62. Edificio N°2. Plantas y alzados del módulo de cuatro viviendas.

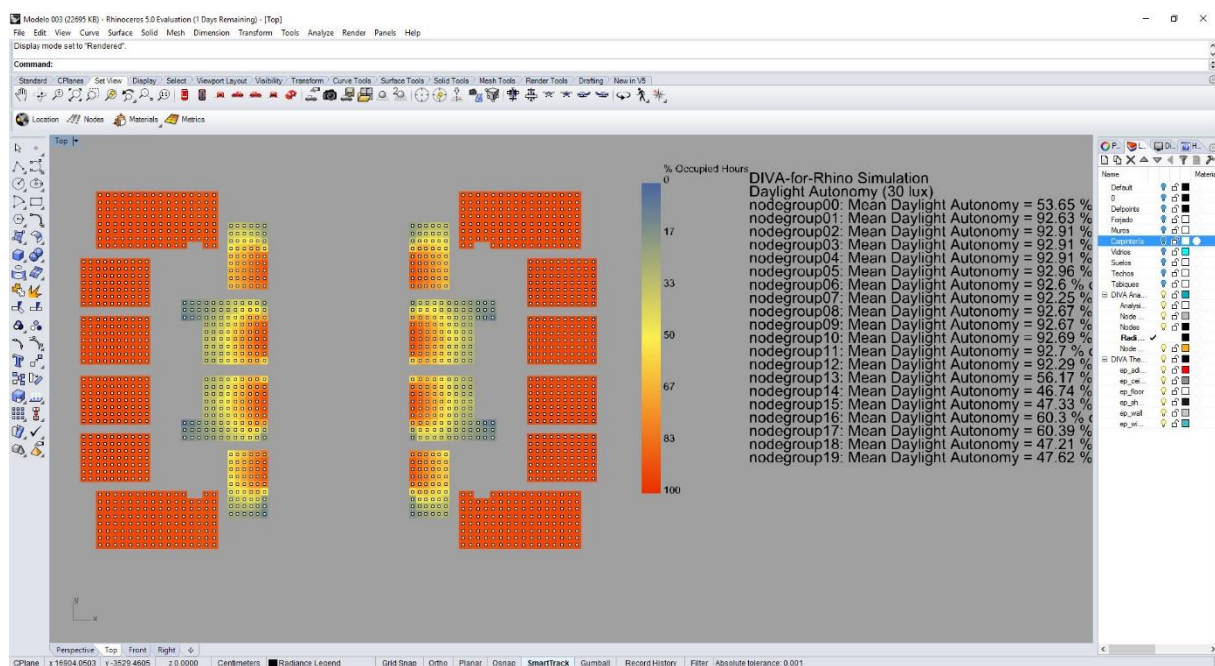


Imagen 63. Edificio N°2. Niveles de iluminación.

	Situación	DA30	AB	R Muro	R Paredes	R Suelos	R Techos	Habitación
PB V1	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 01
PB V1	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 02
PB V1	Cordoba	60%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
PB V1	Cordoba	47%	8	70	70	50	90	Cocina
PB V1	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Salon
PB V2	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 01
PB V2	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 02
PB V2	Cordoba	47%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
PB V2	Cordoba	60%	8	70	70	50	90	Cocina
PB V2	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Salon
PBV3	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 01
PB V3	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 02
PB V3	Cordoba	47%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
PB V3	Cordoba	53%	8	70	70	50	90	Cocina
PB V3	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Salon
PB V4	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 01
PB V4	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Dormitorio 02
PB V4	Cordoba	46%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
PB V4	Cordoba	56%	8	70	70	50	90	Cocina
PB V4	Cordoba	92%	8	70	70	50	90	Salon

Imagen 64. Edificio N°2. Resultados de la simulación.

Como podemos ver en la tabla de Excel y en las imágenes anteriores las habitaciones situadas en las fachadas exteriores cumplen de manera sobrada los niveles exigidos por la normativa propuesta ( $AD30 > 90\%$ ), pero las habitaciones situadas en el interior de los patios quedan por debajo del nivel exigido. En este edificio los patios tienen un diámetro de seis metros y una forma rectangular, son unos patios con unas dimensiones bastante razonables (hay ejemplos mucho peores...) pero aun así vemos como ha quedado un poco por debajo del nivel exigido.

Estos resultados se refieren a la planta baja del edificio y si hubiesen sido positivos no haría falta realizar ninguna simulación más (Tal vez la de los patios exteriores por asegurar el funcionamiento...), pero en este caso va a ser necesario comprobar cuantas plantas quedan por debajo del nivel exigido. Como ya he comentado en otras ocasiones el proceso de cálculo de un edificio consume muchísimo tiempo y es por eso que he tenido que simplificar un poco el proceso de cálculo: He seleccionado el local más desfavorable de la planta baja y lo he analizado en todas las plantas del edificio...



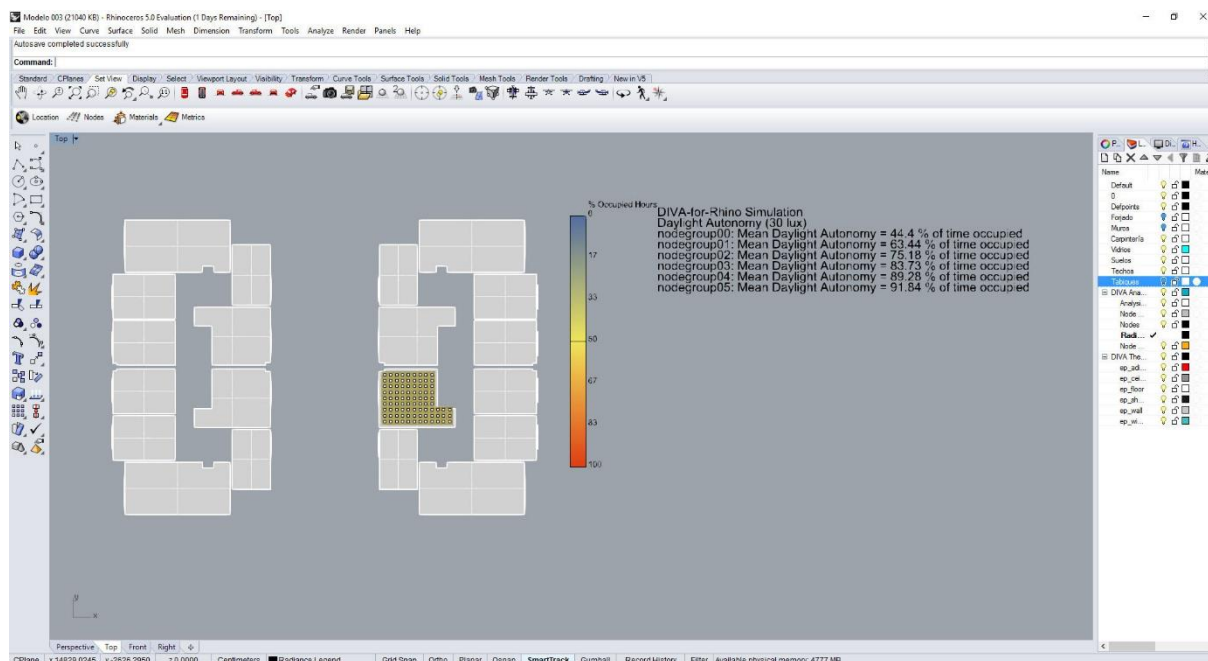


Imagen 65. Edificio N°2. Plantas y alzados del módulo de cuatro viviendas.

P5 V4	Cordoba	91%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
P4 V4	Cordoba	89%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
P3 V4	Cordoba	83%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
P2 V4	Cordoba	75%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
P1 V4	Cordoba	63%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03
PB V4	Cordoba	44%	8	70	70	50	90	Dormitorio 03

Imagen 66. Edificio N°2. Plantas y alzados del módulo de cuatro viviendas.

Como podemos ver en las imágenes anteriores los locales más problemáticos se encuentran situados en las dos plantas inferiores y hay que tener en cuenta que en la planta primera los resultados quedan bastante cerca del límite exigido. Estamos por lo tanto en una situación en la que el edificio está muy cerca de cumplir con la normativa, una situación en la que se podrían aplicar pequeñas modificaciones para elevar el nivel de iluminación: una pequeña modificación en el diseño de los huecos o unos materiales con un nivel de reflexión un poco más alto...

Son pequeños detalles pero cuando se está tan cerca del “aprobado” este tipo de trucos permiten alcanzar el nivel exigido por la normativa sin alterar el diseño general del Edificio.

## 8 Conclusiones.

Después de realizar toda esta investigación sobre normativas de iluminación en otros países y de realizar muchísimas simulaciones en las que he comprobado que el método de cálculo propuesto funciona realmente bien me resulta muy complicado “volver a la realidad” y pensar que en España la normativa actual me obligará a utilizar un patio de 3x3 en una vivienda entre medianeras situada en una parcela con cuatro metros de fachada (destrozando por completo el diseño que tenía planeado...), o que las normativas Urbanísticas de cada municipio limiten el tamaño mínimo de los patios de manera completamente arbitraria.

La normativa propuesta en este trabajo en realidad no es excesivamente dura y en principio la mayoría de los edificios que se construyen hoy en día pueden alcanzar el nivel exigido. La gran diferencia entre un sistema y otro, es que al realizar los cálculos de una manera científica entiendes el motivo por el que el diseño tiene que ajustarse a unas dimensiones. No es lo mismo diseñar un patio con una proporción  $H/4$  porque es lo que dice la norma, que realizar el mismo proceso con un programa en el que puedes ver claramente como es imposible apurar un poco más y dejarlo en una proporción algo más pequeña...

La sensación de que estas realizando un diseño de una manera racional es algo muy importante, casi tanto como saber que tienes libertad para diseñar el edificio de mil maneras distintas. Si el programa dice que cumples, eso es lo único que importa y esa libertad de movimientos es algo que favorece muchísimo la construcción en los centros históricos de las ciudades.

## **9 Bibliografía.**

### **Información General:**

Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. IDAE.

Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book. Velux

### **Iluminación y salud:**

Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. Building and Environment 2012. Choi JH, Beltran L and Kim H.

The Impact of Light on Outcomes in Healthcare settings. Issue Paper 2 The Centre for Health Design 2006. Joseph A.

Relationship between climate and psychiatric inpatient length of stay in Veterans Health Administration hospitals. American Journal of Psychiatry. Federman, E. J., Drebing, C. E., Boisvert, C., & Penk, W. (2000).

Residential Light and Risk for Depression and Falls: Results from the LARES Study of Eight European Cities. Mary Jean Brown and David E. Jacobs.

Wilson L. Intensive care delirium: The effect of outside deprivation in a windowless unit. Archives of Internal Medicine 1972;

### **Normativa internacional:**

International Survey of Daylight regulations & requirements. David Strong.

Daylight & sustainability – what are the future political & regulatory drivers?. David Strong.

International Sustainability System Comparison. Jenn McArthur, Nubia Herrera & P.Mantha.

An overview of the current state of daylight legislation. Mohamed BOUBEKRI.

Tageslichtbeleuchtung in Gebäuden. S. Aydinli

CSR House Technique Australian Daylight Benchmarks. Jesse Clarke.

New Zealand Building Code Clause G7 Compliance Assessment Tool: Development and Implementation. Krystle Stewart.

### **Métodos de cálculo:**

Predicting the Daylit Area - A Comparison of Students Assessments and Simulations at Eleven Schools of Architecture. Christoph Reinhart, Tarek Rakha, and Dan Weissman.

Introduction to Simulating LEEDv4. Daylighting Credit Compliance and IES-LM-83.



J. Alstan Jakubiec.

The Daylight Factor. Prof. DTG Strong, B.Sc.(Hons.), D.Phil.(Oxon.), C.Eng. FCIBSE, FEI

Daylight metrics and energy savings. J. Mardaljevic.

Spatial Daylight Autonomy & Annual Sunlight Exposure. The LM-83 Radiance Script (using 3-phase method). Ery Djunaedy, Alen Mahic Kevin Van Den Wymelenberg.

Iluminación Natural - Arq. M. Girardin

Predicting Visual comfort in a large daylight space based on long-term occupant evaluations: A field study. J. Alstan Jakubiec and Christoph F. Reinhart.

Daylighting Metrics for Residential Buildings. Mardaljevic, Andersen, Roy, and Christoffersen.

Teaching Daylight Simulations – Improving modeling workflows for simulation novices. Diego Ibarra and Christoph F. Reinhart.

Fast daylight coefficient calculation using graphics hardware. Nathaniel L Jones and Christoph F Reinhart.

Rethinking daylighting and compliance. John Mardaljevic.

A Comparative Evaluation of Daylighting Software: Superlite, Lumen Micro, Lightscape and Radiance. Ubbelohde, M. S., and C. Humann. 1998.