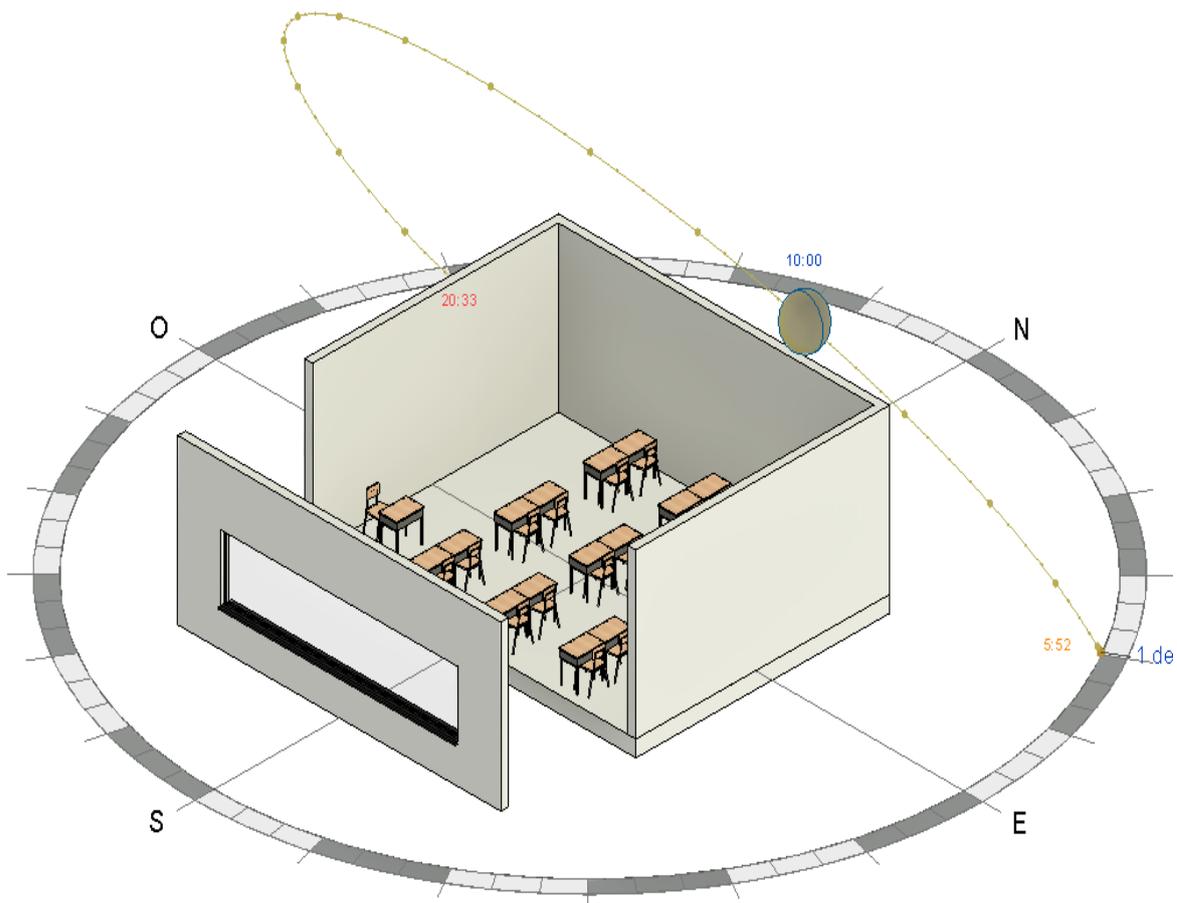


---

# SISTEMAS DE CONTROL DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN ESPACIOS DOCENTES: OPTIMIZACIÓN Y AHORRO ENERGÉTICO LUMÍNICO MEDIANTE MÉTRICAS DINÁMICAS.

---



TRABAJO FINAL DE GRADO. GRUPO K

AUTORA: MARÍA YANES SÁNCHEZ

TUTOR: IGNACIO J. ACOSTA GARCÍA

SEVILLA 24 JUNIO 2018

---



# ÍNDICE

## ABSTRACT

## UNIDAD A

### 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

1.1 Conocimiento de la importancia de la luz natural en todo lo que rodea al ser humano

1.1.1 Influencia de la luz natural en el ser humano

1.1.2 Ritmos circadianos

1.1.3 Influencia de la luz natural en ámbitos de estudio

1.2 Ahorro energético y económico

1.3 Conceptos previos

1.3.1 Métrica estática

1.3.1.1 Daylightfactor

1.3.2 Métricas dinámicas

1.3.2.1 Autonomía de luz de día (DA)

1.3.2.2 Autonomía de luz día espacial (sDA)

1.3.2.3 Autonomía de luz continuada cDA

1.3.3 Exposición anual de luz solar (ASE)

1.4 Sistemas de control

1.5 Normativa

### 2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos generales.

2.2 Objetivos específicos.

## UNIDAD B

### 3. METODOLOGÍA.

#### 3.1 Definición caso de estudio

##### 3.1 Definición aula tipo

#### 3.2 Definición valores de cálculo

#### 3.3 Definición de las variables

##### 3.3.1 Definición variables pasivas

- Orientación
- . Tamaño del elemento captador
- Entorno y obstrucciones

##### 3.3.2 Definición variables activas

- Sistema de control todo/nada
- Sistema de control por línea
- Sistema de control individual

#### 3.4 Herramienta de cálculo y definición de la métrica de cálculo.

## UNIDAD C

### 4. RESULTADOS

### 5. CONCLUSIONES

### 6. BIBLIOGRAFÍA



## RESUMEN

### SISTEMAS DE CONTROL DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN ESPACIOS DOCENTES: OPTIMIZACIÓN Y AHORRO ENERGÉTICO LUMÍNICO MEDIANTE MÉTRICAS DINÁMICAS.

Desde hace unas décadas el concepto de luz natural ha ocupado numerosos estudios en una gran variedad de campos, mostrándose en ellos la cantidad de beneficios que se puede obtener de ésta. En el campo de la arquitectura no ha sido diferente, pues realmente es un concepto que se aplica en todas las variantes.

Es por ello que este TFG se centrará en la realización de un estudio que tendrá por objeto conocer el aprovechamiento de la luz natural en el interior de un espacio en función de algunas variables, tanto pasivas (diseño de la ventana o geometría de la arquitectura) como activas (sistemas de control), para de este modo encontrar la manera de optimizarla en espacios docentes. Como resultado será posible cuantificar el beneficio económico obtenido a través del ahorro energético que se produzca.

Finalmente el estudio se realizará de forma concreta en un aula universitaria, teniendo en cuenta las variables pasivas: huecos, orientación, entorno; y la variable activa a través de una instalación lumínica regulable que se adapte a las diferentes necesidades de los usuarios. Se recurrirá al software de Climate Studio, avalado por Solemma de la Universidad de Harvard.

## ABSTRACT

### DAYLIGHTING CONTROL SYSTEMS IN EDUCATIONAL SPACES: OPTIMIZATION AND LIGHTING ENERGY SAVINGS THROUGH DYNAMIC METRICS.

For some decades now, the concept of natural light has been the subject of numerous studies in a wide variety of fields, showing the many benefits that can be obtained from it. In the field of architecture has not been different, as it is a concept that applies in all variants.

That is why this TFG will focus on conducting a study that will aim to know the use of natural light inside a space depending on some variables both passive (window design or geometry of the architecture) and active (control systems), thus finding ways to optimize it in educational spaces. As a result it will be possible to quantify the economic benefit obtained through energy savings.

Finally, the study will be carried out concretely in a university classroom, taking into account the passive variables: openings, orientation, environment; and the active variable through a dimmable lighting installation that adapts to the different needs of users. The Climate Studio software, endorsed by Solemma of Harvard University, will be used.

## UNIDAD A

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

*«La arquitectura solo se considera completa con la intervención del ser humano que la experimenta» Tadao Ando*

La cita anteriormente mencionada pertenece a un gran arquitecto que ha tenido una importante repercusión en lo que significa la arquitectura actualmente. Guarda mucha relación con la intención de este TFG, pues se propone realizar un estudio usando la tecnología con la que hoy tenemos la posibilidad de contar, con la finalidad de optimizar y asegurar el adecuado uso de nuestras instalaciones a través del aprovechamiento de la luz natural, teniendo siempre muy presente para quién se construye la arquitectura y sus espacios, es decir, las personas. Es por ello, y para acentuar la importancia de la luz natural, que el primer punto que se analizará, es la influencia de la luz natural en el ser humano.

### 1.1.1 INFLUENCIA DE LA LUZ NATURAL EN EL SER HUMANO.

Desde el comienzo de la historia de la humanidad, el ser humano ha realizado sus actividades durante los periodos diurnos mientras que, el descanso se realizaba en el periodo nocturno con la ausencia de luz. Aunque actualmente esto ha cambiado de forma radical debido al descubrimiento de la luz artificial, ya que nos ha permitido realizar cualquier actividad durante la noche sin ningún tipo de inconveniente, pero la realidad es que nuestros cuerpos se regulan a través de la luz natural y estamos “programados” para funcionar durante los periodos diurnos.

Asimismo desde hace siglos la luz natural ha sido un campo muy investigado, y actualmente hay muchos estudios que demuestran la gran influencia que tiene en el ser humano, tanto a nivel fisiológico como psicológico como anteriormente se comentaba. Además la luz natural afecta a la mayoría de los procesos aportando muchos beneficios, aunque como también es sabido, en exceso puede tener efectos negativos. Un estudio publicado en el National Institutes of Health (NIH) destaca que la falta de luz natural puede ocasionar cansancio, estrés, dolor de cabeza, periodos de insomnio... Por lo que podemos asegurar que la luz natural está directamente relacionada con la calidad de nuestra salud.

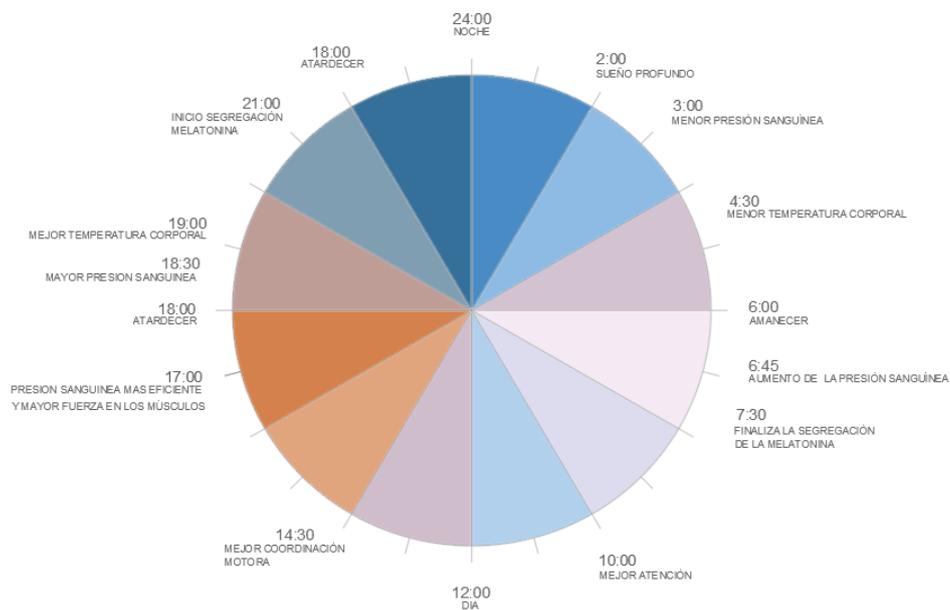
Se pueden agrupar los efectos de la luz en el cuerpo en tres grupos:

- Control del reloj biológico, efectos sobre el sueño
- Cura de enfermedades y estado de ánimo.
- Influencia sobre la actividad de personas.

### 1.1.2 RITMO CIRCADIANO

Los ritmos circadianos afectan en gran medida a los cambios de nuestro organismo, además existen en todos los seres: humanos, animales, plantas y organismos. Los ritmos circadianos son los cambios que se producen en nuestro cuerpo en un ciclo de 24 horas. Estos cambios responden principalmente a la presencia ó ausencia de luz y se encargan de la liberación de hormonas, hábitos alimentarios y digestión, además de la temperatura corporal.

¿Cómo funcionan? Pues como se ha comentado los ritmos circadianos dependen fundamentalmente de la luz, es por ello que van cambiando a lo largo del día, ya que como también se comentaba anteriormente se encargan de la segregación de hormonas, en este caso concretamente, la melatonina, que es la principal hormona encargada del control del sueño.



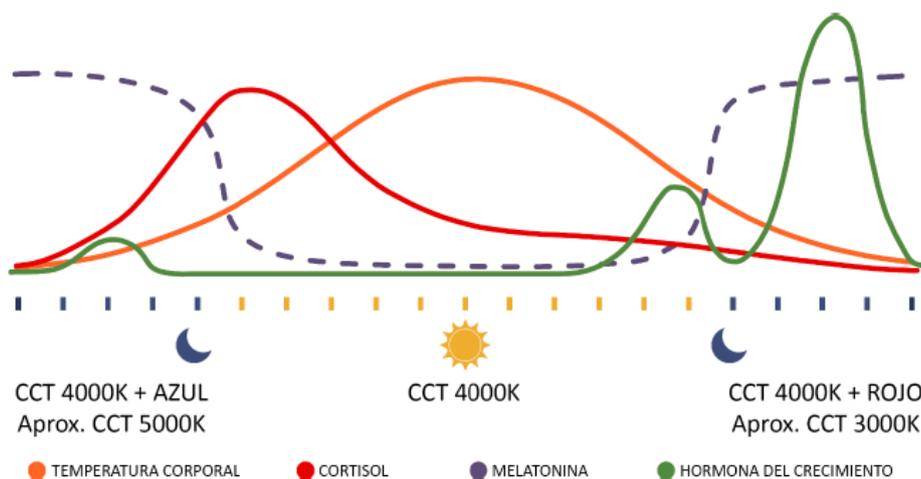
(1) Fig.- Fases de los ritmos circadianos; Fuente y maquetación propia.

En la primera fase, con la salida del sol, comienza el proceso de “activación del cuerpo” esto por lo tanto conlleva una interrupción en la segregación de la melatonina para comenzar a segregar la testosterona y comenzando la activación de nuestro organismo.

En la segunda fase, se presenta el momento de mayor aptitud de nuestro cuerpo, es cuando “más despierto se está” y por lo tanto es el momento donde mejor rendimiento tenemos. Coincide con los momentos de máxima luz del día.

En la tercera fase, con la caída del sol, la luz obtiene tonos más cálidos que avisan al cuerpo para la “preparación para el sueño”. Es por ello que en estas horas suelen mostrarse estados de relajación ya que se comienza a generar melatonina de nuevo, además se alcanza la máxima temperatura corporal y presión sanguínea.

En la cuarta y última fase, con la ausencia de luz, el cuerpo está preparado para conciliar el sueño debido a que ha estado segregando melatonina durante horas.



(2) Fig.- Niveles de secreción hormonal durante el ciclo circadiano; Fuente: SIMON, 2018.

Asimismo, la estimulación de los ciclos circadianos de forma adecuada está directamente relacionada con unos mejores niveles de concentración, un factor de gran relevancia a tener en cuenta sobre todo en ámbitos laborales y docentes ya que, debido a la estructura social que tenemos son los espacios que durante más periodos de tiempo ocupamos junto a nuestras viviendas.

### 1.1.2 INFLUENCIA DE LA LUZ NATURAL EN ÁMBITOS DE ESTUDIO.

La Encuesta de Población Activa realizada en 2019, concluyó que en España, los trabajadores con un contrato tipo de jornada completa con horario laboral durante la semana, tuvieron una jornada de 36,6 horas medias semanal. Por otro lado, los trabajadores autónomos tuvieron una jornada de 45,15 horas. De esto podemos deducir que de media, una persona ocupa 7,32h que suponen casi 1 tercio de cada día en su ámbito de trabajo. De igual forma, los estudiantes pasan una media de 7h en los colegios e institutos, los que supone una de las jornadas más largas de Europa frente a países como Alemania, Irlanda (5h). Es por esto que numerosos estudios de diferentes ámbitos como medicina, psicología, educación, arquitectura... han decidido centrar en investigar acerca de las repercusiones y que beneficios puede aportar la luz natural en las personas en ámbitos de estudio, ya que es un componente al alcance de todos y gratuito.

La UPMC y el INSERM a través de un ensayo en el que analizó un total de 2837 alumnos en 54 escuelas de Europa, concluyó que la luz natural está directamente relacionada con la mejora del rendimiento, concretamente en asignaturas como matemáticas, obteniéndose incrementos de hasta el 15% de mejora. Por otro lado, se observó que el tamaño de los elementos captadores de luz también influía, a mayor tamaño mejores resultados. Asimismo la universidad de Nebrija con otro estudio expuso que además de observar mejoras en la concentración se veían resultados en la disminución del estrés.

Estos estudios recalcan la importancia del esfuerzo que debe hacer el arquitecto a la hora de diseñar proyectos de ámbitos docentes y laborales para asegurar en todo momento los umbrales de confort y calidad.

## 1.2 EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO

### Eficiencia energética, emisiones de CO<sub>2</sub>.

Actualmente un tema que ha generado mucha preocupación dentro del ámbito de la arquitectura y la construcción ha sido la forma de obtención de la materia prima y como hacer un buen uso de esta, debido a que es un hecho objetivo que nuestro planeta se encuentra en un estado de emergencia climática que implica entre otras cosas un gran desabastecimiento. Es por ello, que cada vez más, se han estado buscando alternativas para poder realizar todos estos procesos de obtención de forma más respetuosa con el medio ambiente y conseguir de este modo la huella ecológica. De forma paralela, también se han estado buscando maneras para poder optimizar el uso de estos recursos primarios ya que de igual forma, después de ser obtenida, sigue siendo muy importante optimizar los consumos, pues un menor consumo implica una menor necesidad de materia prima.

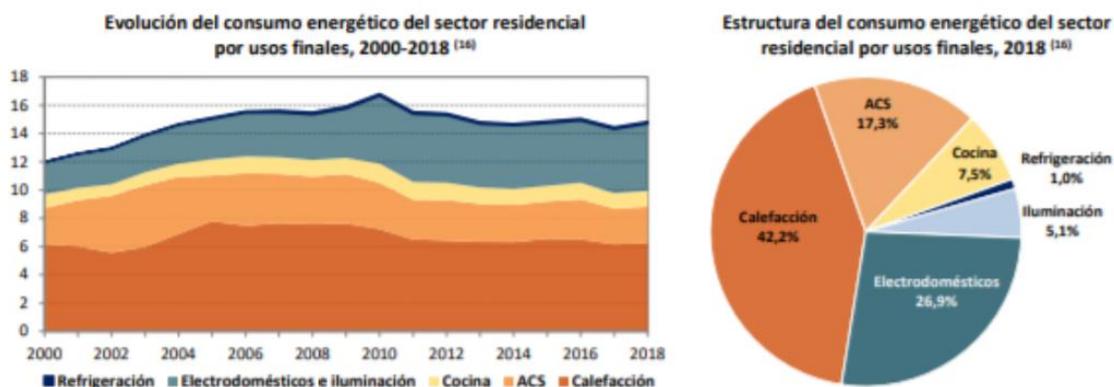
Además a día de hoy podemos asegurar que la mayoría de los edificios requieren de la electricidad para asegurar el adecuado grado de confort y salubridad de sus espacios. Uno de esos derivados del uso de la electricidad más común es el uso de la iluminación artificial, ya que muchos de estos no tienen la capacidad de funcionar exclusivamente con luz natural, ya sea debido a motivos como su uso (apertura en periodos nocturnos), edad de la edificación, incorrecta ubicación y elección de los huecos, orientaciones, entorno... por lo que es frecuente encontrar un alto consumo de luz artificial y un desaprovechamiento de la luz natural.

Como podemos ver a través de un ensayo realizado por el IDAE, la energía consumida por el sector de la construcción de manera directa (uso de la vivienda), e indirecta (ejecución de las obras), supone entre un 20 – 40% de la energía total consumida en España en 2018, datos que reafirman la importancia de optimizar y reducir todos los procesos y uso de la energía.

**Sector Residencial <sup>(1)</sup>**

Unidad	Consumo del sector residencial Mtep	Cobertura en la demanda energética		Consumo térmico per cápita tep/pers	Consumo eléctrico per cápita kWh/pers	Superficie media de las viviendas <sup>(14)</sup> m <sup>2</sup>	Ocupación media de las viviendas <sup>(15)</sup> pers/viv
		Energías renovables <sup>(7)</sup> %	Electricidad %				
2000	12,1	22,1	31,1	0,205	1.077	89	2,30
2018	14,9	35,4	43,4	0,180	1.605	92	2,52

(3) Fig.- Desglose y comparación del consumo en el sector residencial; Fuente: IDAE, 2018.



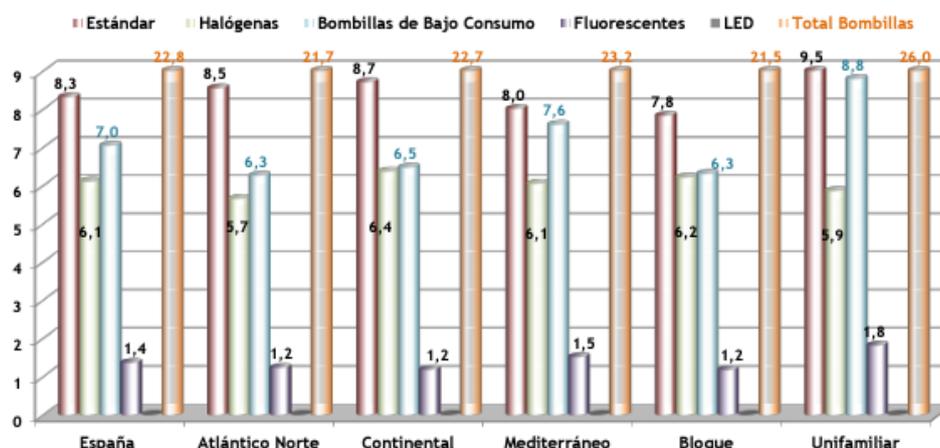
(4) Fig.- Evolución del consumo energético del sector residencial por usos finales; Fuente: IDAE, 2018.

(5) Fig.- Estructura del consumo energético del sector residencial por usos finales; Fuente: IDAE, 2018.

Por lo tanto, una reducción en el consumo de las energías, implicará una reducción en las emisiones de CO2 que emitirán nuestros edificios de forma directa e indirecta, consiguiendo por lo tanto ser más respetuosos con el medio ambiente y frenar en la medida de lo posible las consecuencias de estas emisiones que empeoran el cambio climático.

Por otro lado, gracias a esta gran preocupación y gracias a la tecnología con la que hoy contamos, se han podido realizar una numerosa cantidad de estudios que han conseguido obtener diferentes soluciones a grandes y pequeñas escalas, dando la oportunidad a los diferentes usuarios de hacer un uso más responsable y eficiente de la electricidad. Entre estas soluciones destacarían el gran avance de las energías renovables, que, a día de hoy están prácticamente al alcance de cualquiera y el avance en la optimización de las instalaciones y los diferentes elementos que la componen ya sea por los materiales a los que se recurre o por la cantidad de opciones con las que se cuentan, como podría ser el tipo de luminaria a usar.

Centrándonos en este último componente comentado, las luminarias, durante estos últimos años se han obtenido muchos tipos que han brindado la oportunidad de reducir los consumos, sin embargo, según otro estudio realizado en 2019 por el IDAE, el número medio de bombillas en un hogar español oscila en 23, de las cuales, la tipología más abundante son las bombillas convencionales, en segundo lugar las bombillas de bajo consumo, y por último las bombillas LED, que siendo las más eficientes no llegan a representar el 1%.



(6) Fig.- Equipamiento medio de bombillas en los hogares por zona climática y tipo de vivienda; Fuente: IDAE, 2019

Estos datos son preocupantes, ya que vemos que no hay un uso adecuado de los medios con lo que hoy disponemos a nivel individual de usuario, es por ello, que en nuestra labor como arquitectos debemos hacer hincapié en todos los procesos que nos sea posible dentro del diseño previo y posterior para asegurar que nuestros edificios logren un óptimo funcionamiento.

De igual forma, un menor consumo influye en otros aspectos como en la factura final, y como se comentaba al inicio, no debemos permitir olvidar que se construye para los usuarios. Debido a esto, y a qué durante este último año, por ejemplo, en España, el precio de la electricidad ha subido de forma notable con la optimización de la iluminación natural se podrá conseguir una disminución del consumo y por ende, una reducción en la factura final beneficiando a los usuarios.

### 1.3 CONCEPTOS PREVIOS.

A continuación, se describirán una serie de parámetros importantes para el entendimiento y desarrollo del TFG. Estos parámetros son métricas que actualmente se usan para conocer los valores de iluminación natural en espacios interiores en función de cómo sea dicho espacio, su ubicación y el espacio exterior que lo rodee. Con estas métricas se han obtenido grandes resultados además han proporcionado importantes avances a la hora de diseñar la iluminación en los espacios interiores de forma adecuada. En primer lugar, veremos una métrica estática:

#### 1.3.1 MÉTRICA ESTÁTICA.

##### 1.3.1.1 DAYLIGHT FACTOR

Se define como factor de luz día/luz natural en (%). Se traduce en el tanto por ciento de luz natural bajo cielo nublado que se aprovecha en un punto determinado de un espacio determinado. Se fundamenta en tres conceptos:

- Componente de luz visible del cielo: Luz natural del cielo que nos llega
- Componente de luz reflejada interior, depende de las características del espacio, materiales, altura, profundidad...
- Componente reflejada del entorno

Es decir, este factor analiza y obtiene que tanto % de luz natural bajo cielo nublado es aprovechable en un punto de un espacio interior para que se puedan realizar las tareas asociadas a dicho espacio de forma adecuada, basadas en el umbral de luz (luxes) que hayan sido establecidos. Si se realizara un estudio y obtuviéramos un 40%, esto significaría que, durante el 40 % del tiempo de uso del espacio no sería necesario un aporte de luz artificial, mientras que el 60% restante del tiempo sí, ya que no se alcanzarían los valores mínimos establecidos.



(7) Fig.- Esquema explicativo Daylight Factor. Maquetación y fuente propia.

Obtener un valor del 100% de iluminación es prácticamente imposible obtenerlo dado que tendrían que darse condiciones muy “utópicas” y sobre todo en este contexto de cielo continuamente nublado esas condiciones se dificultan aún más. Sin embargo el resultado obtenido si se puede optimizar a través de la realización de cambios en el espacio: ventanas más grandes y/o mejor orientadas, mejorando la luz reflejada... Por lo que este tipo de análisis es muy recomendable realizarlo de cara a obras de rehabilitación de espacios ya que pueden brindar grandes oportunidades.

Actualmente es un concepto que ha quedado más obsoleto pues esta métrica contempla un estado de cielo continuo, sin cambios, siempre bajo la condición de estar nublado. Hoy en día a través de la tecnología se ha conseguido estudiar casos con mayor semejanza a la realidad con métricas dinámicas que son capaces de obtener resultados estudiando un cielo cambiante.

### 1.3.2 MÉTRICAS DINÁMICAS

#### 1.3.2.1 DAYLIGHT AUTONOMY (DA)

Este parámetro es más actual, y es a partir de éste cuando se comienza a considerar la métrica dinámica, ya que consigue obtener resultados partiendo de un cielo en movimiento, es decir a diferencia del Daylightfactor, el Daylightautonomy, no sólo trabaja bajo las condiciones de un cielo nublado estático, si no que trabaja bajo la condición de un cielo cambiante, por lo que incluye en los cálculos los días más favorables y desfavorables obteniendo así resultados más reales. Es por ello que éste será el parámetro que se tendrá en cuenta a la hora de realizar los cálculos y obtener los resultados en nuestro caso de estudio desarrollado posteriormente.

Este parámetro representa, al igual que el Daylightfactor, el porcentaje de tiempo en el que no es necesario un aporte de luz eléctrica en función de un umbral de luz dado (lux) y horario (h). Es decir, nos proporcionará el tanto % del tiempo que no es necesario aporte de luz artificial debido a que la luz natural sea suficiente y el % del tiempo restante, que sí será necesario el aporte de luz artificial. Lo que ocurre en este caso, como explicábamos anteriormente, es que obtendremos valores más reales dado que se considerará un cielo en movimiento, por lo que obtendremos datos que tendrán en cuenta los momentos más favorables como puede ser un día completamente soleado y los más desfavorables como puede ser un día de lluvia.

Cabe destacar que este parámetro ha supuesto una gran oportunidad para realizar estos estudios ya que como sabemos, dependiendo de la ubicación en la que nos encontremos los cielos y el clima varía de forma muy notoria, por ejemplo, no es lo mismo realizarlo en Reino Unido que se caracteriza por tener un clima mayoritariamente lluvioso y nublado, a realizarlo en algunos países nórdicos donde los días sólo cuentan con muy pocas horas solares, frente a realizarlo en ubicaciones como en España, que se caracteriza por tener un clima soleado con muchas horas de sol.

Para realizar los análisis se basa en unos archivos climáticos que han recogido información durante los últimos años en una localización concreta acerca de cómo ha sido ese cielo, cuantifica los días de sol, los días nublados, los días de lluvia... y por lo tanto, es capaz de cuantificar la cantidad de luz natural anual de dicho lugar.

En función a estos datos, se realiza una estadística que puede proporcionar como es un año tipo del lugar y con ello será posible, como se explicaba anteriormente, conocer el % por ciento de luz natural con la que contamos.

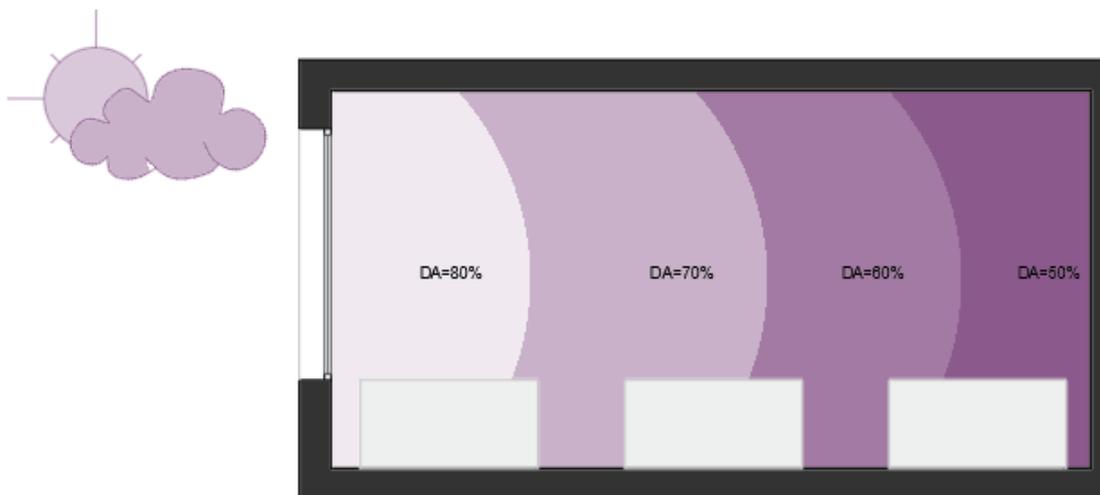
A continuación se presentan unos esquemas explicativos conceptuales para complementar la explicación de esta métrica donde se muestra esa variación en los tantos por cientos según las condiciones de cielo que encontremos.

Caso 1. % DA día soleado.



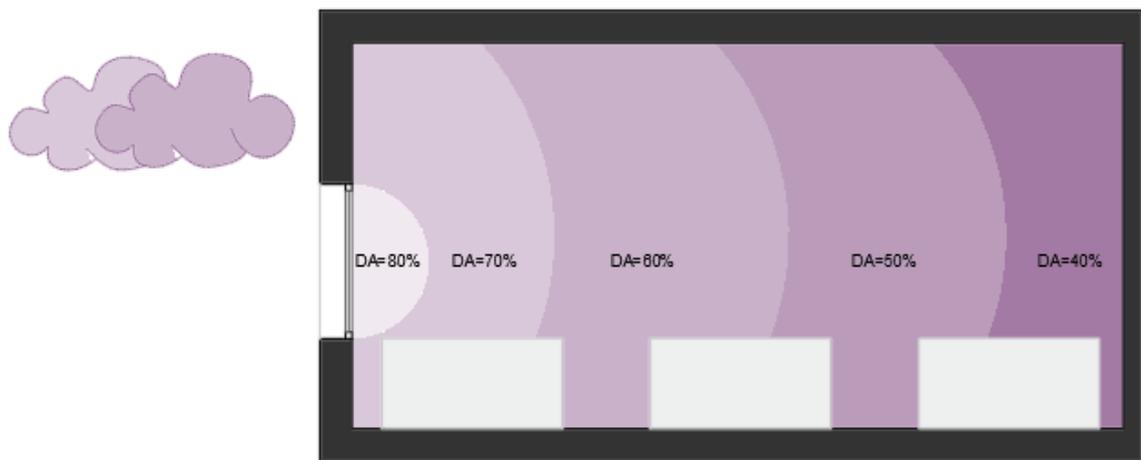
(8) Fig.- Esquema explicativo Daylight Autonomy. Día soleado. Maquetación y fuente propia.

Caso 2. % DA día soleado con periodos de nubes.



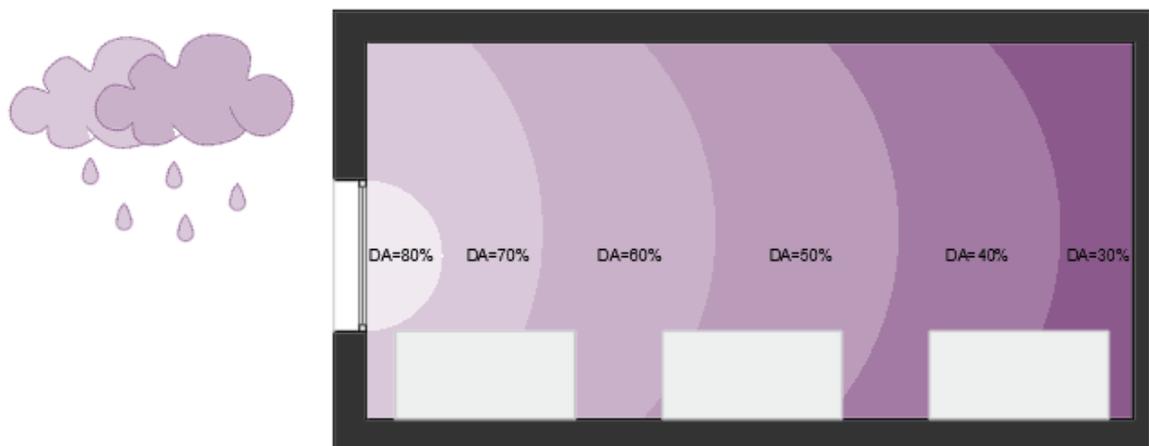
(9) Fig.- Esquema explicativo Daylight Autonomy. Día soleado parcialmente. Maquetación y fuente propia.

Caso 3. % DA día nublado.



(10) Fig.- Esquema explicativo Daylight Autonomy. Día nublado. Maquetación y fuente propia.

Caso 4. % DA día lluvioso.



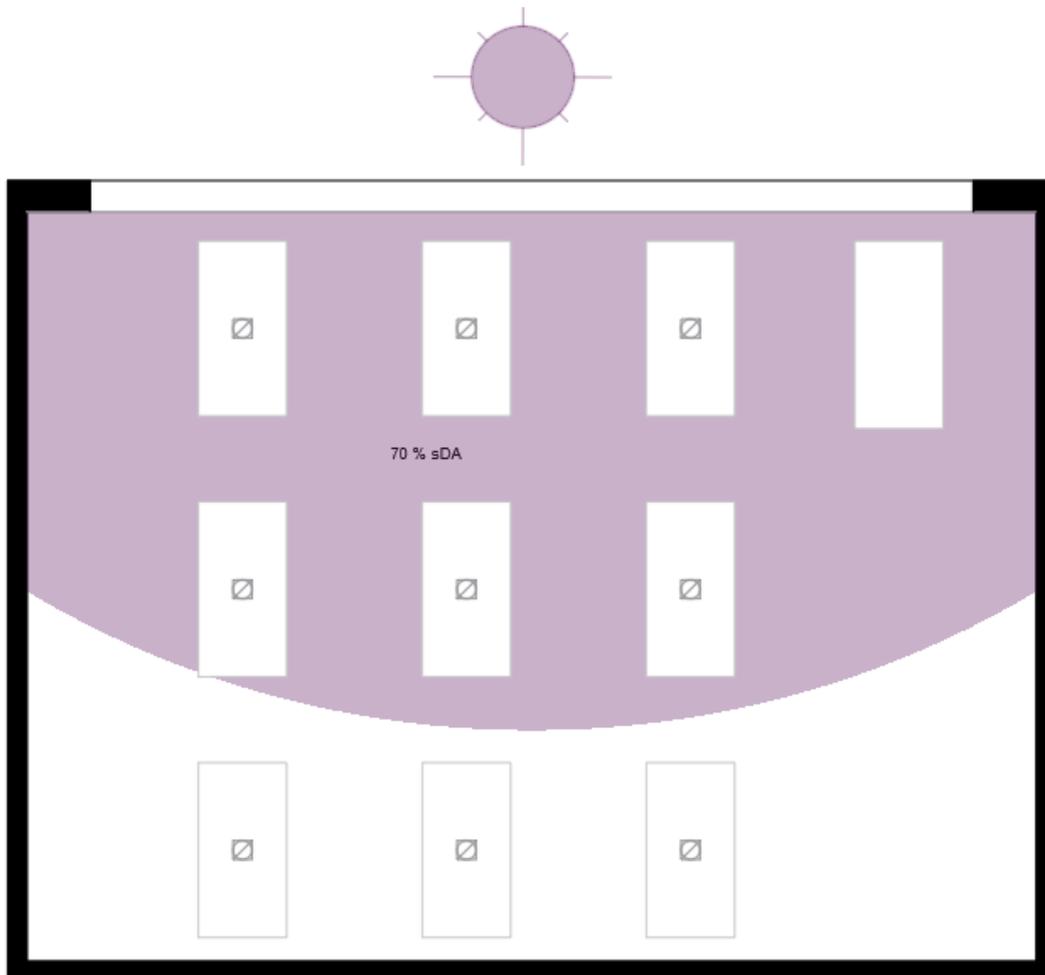
(11) Fig.- Esquema explicativo Daylight Autonomy. Día lluvioso. Maquetación y fuente propia.

Como podemos observar a través de estos esquemas, el tipo de cielo y la cantidad de luz que este puede aportar a nuestros espacios influye directamente al valor DA% obtenido, a mayor cantidad de luz solar menor será la necesidad de un aporte de luz artificial.

### 1.3.2.2 AUTONOMÍA DE LUZ DÍA ESPACIAL (sDA)

Este parámetro es complementario al DA, pero se define como el tanto por ciento de una superficie que supera los 300 luxes de iluminancia durante el 50% del tiempo de ocupación estipulado para un espacio determinado.

Debido a que como se explicará posteriormente según normativa para espacios docentes universitarios el umbral establecido para el adecuado uso queda fijado en 300 luxes, este será un parámetro muy útil en el desarrollo de los cálculos, ya que nos permitirá de una forma muy visual y sencilla entender el comportamiento de la luz natural en ese plano de trabajo.



(12) Fig.- Esquema explicativo autonomía de luz día espacial. Maquetación y fuente propia.

### 1.3.2.3 CONTINUOUS DAYLIGHT AUTONOMY (cDA)

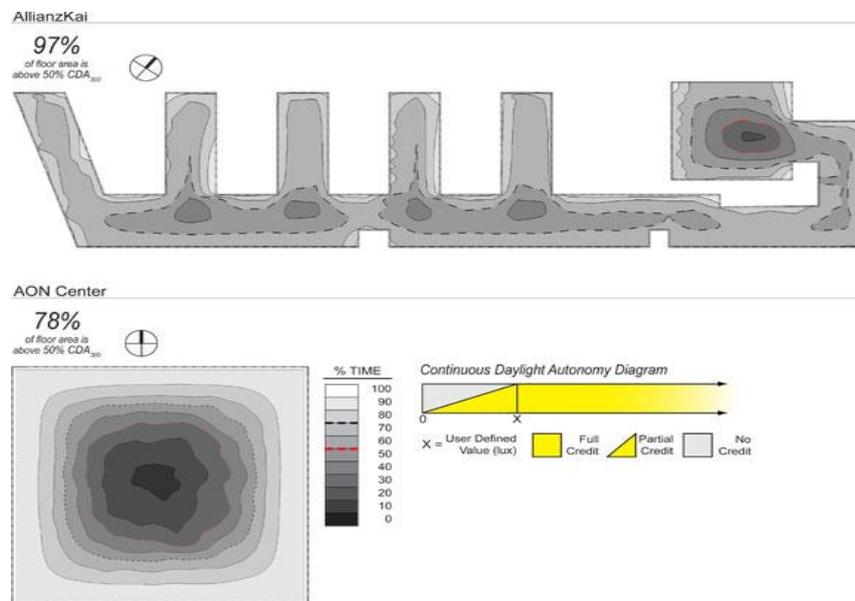
Este parámetro hace alusión a la luz aprovechable y es de gran interés entre otras razones por su gran relación con los sistemas de control y el adecuado uso de estos.

Cuando obtenemos los resultados DA, como se explicaba anteriormente, estamos recibiendo que tanto por ciento de tiempo en función del umbral de establecido se llega a valores los mínimos suficientes únicamente con luz natural, pero qué ocurre cuando estamos por debajo.

El DA nos daría directamente valor cero, mientras que el Continuous Daylight Autonomy proporciona información acerca de cuanta luz es aún aprovechable. Esto es muy favorable en los sistemas de control, ya que a través de este parámetro sabemos que cantidad exacta de luz hay que aportar. Es decir, las luminarias a través de esta información no se encenderán todas al mismo tiempo, si no que irán de forma progresiva o regulándose en función de las necesidades y el aporte de iluminación natural.

Es decir, si uno de los puntos establecidos para el estudio nos da un DA de 150 lux pero se solicitan 300 lux, por lo tanto durante todo ese periodo de tiempo, las luminarias deben estar encendidas, sin embargo el Continuous Daylight Autonomy, nos dirá que durante ese periodo de tiempo, la luz eléctrica debe aportar 150 lux ya que los 150 restantes son aportados por la luz natural.

Esto también es muy importante porque está directamente relacionado con el consumo energético total de nuestro sistema, ya que, en instalaciones regulables, a menor necesidad de aporte lumínico menor consumo. Por lo tanto, las emisiones finales de CO2 disminuirían.



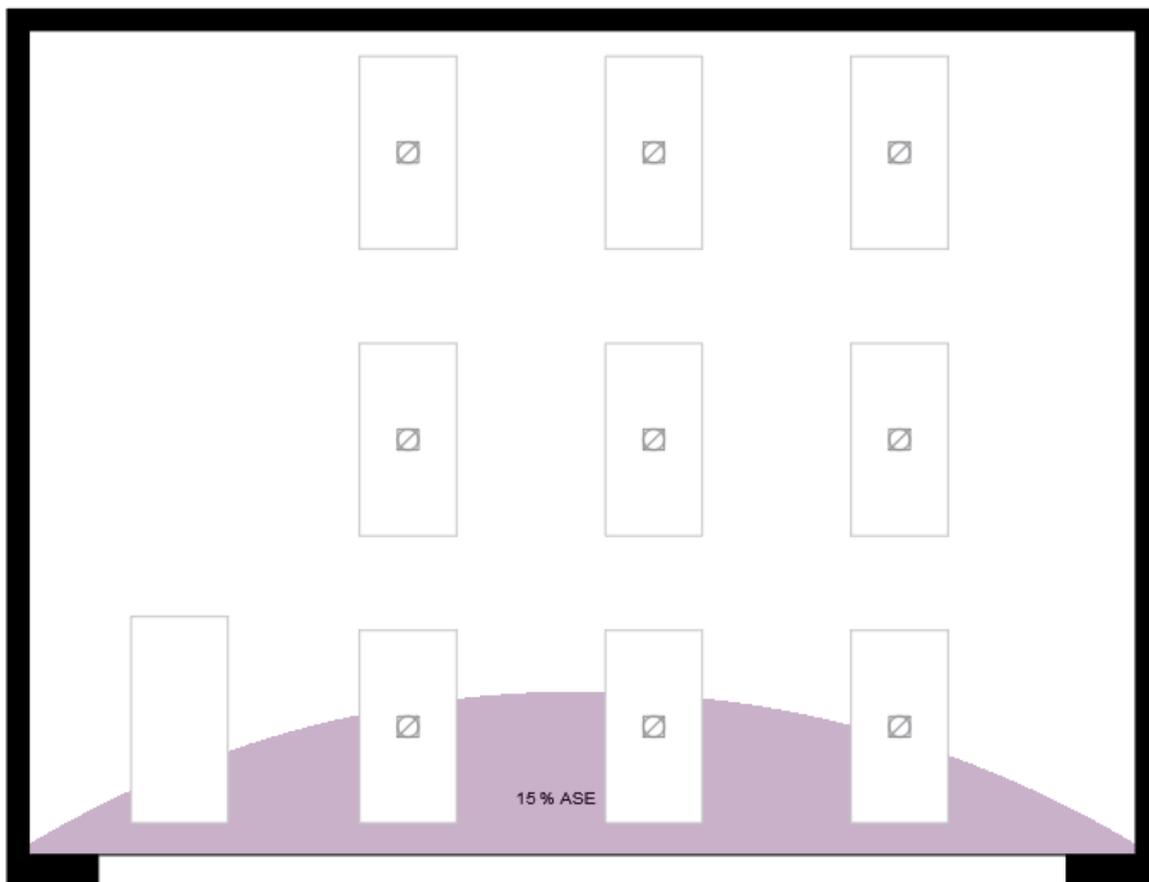
(13) Fig.- Esquema explicativo continuos daylight autonomy. Fuente y maquetación. Ignacio J. Acosta García.

### 1.3.3 ANUAL SOLAR EXPOSURE (ASE)

Como se comentaba al principio de este TFG, una exposición a la luz solar en exceso puede tener efectos negativos a nivel fisiológico y psicológico en las personas, por ello y que una exposición prolongada también afecta de forma negativa en el diseño de muchas instalaciones que al realizar el posterior estudio, la exposición solar será otro de los parámetros a tener en cuenta.

El Anual Solar Exposure se define como el % de una superficie que supera 1000 luxes en 250 horas al año, es decir mide el área del espacio donde se produce mayoritariamente la incidencia solar.

Asimismo según normativa, en aquellos espacio donde el ASE supere el 10% será necesario tomar medidas de protección, estas medidas de protección se podrán asociar a los sistemas de control a través de sensores, que según los valores que tomen, determinarán el funcionamiento de estos sistemas. Los sistemas de control de protección solar, suelen ser sistemas de lamas móviles que se dispondrán de forma horizontal o vertical según la orientación.



(14) Fig.- Esquema explicativo exposición anual de luz solar. Maquetación y fuente propia.

## 1.4 SISTEMAS DE CONTROL

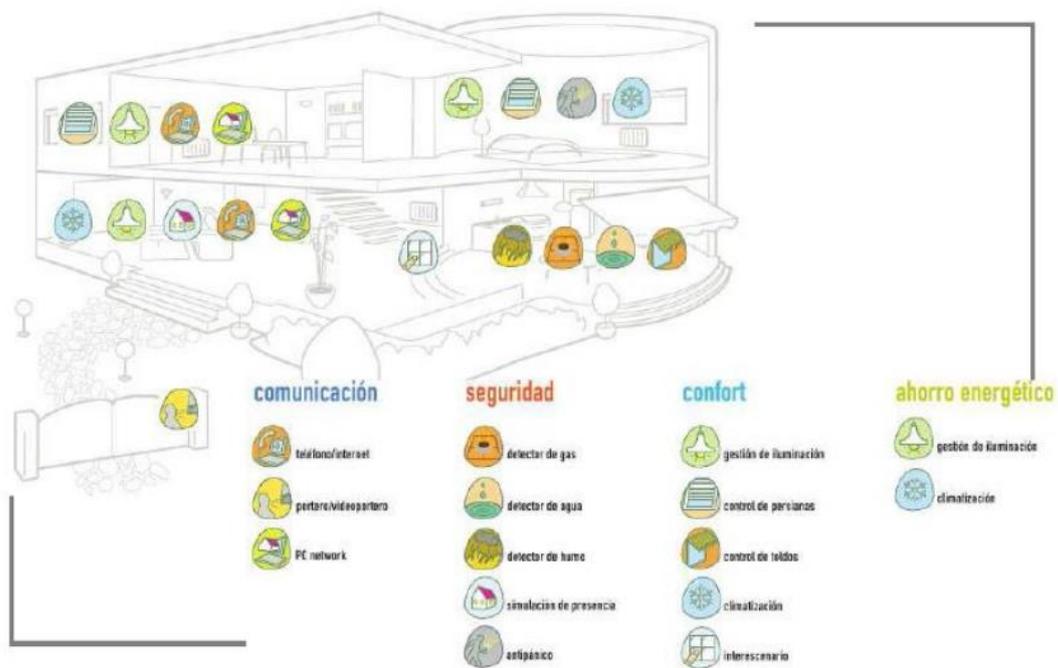
En estos últimos siglos la tecnología ha dado pasos agigantados con lo que a avances se refiere, y la arquitectura no ha quedado atrás a través de la incorporación de estos en todos sus procesos constructivos. Desde los primeros descubrimientos como pudo ser el acero que marcó un antes y un después en lo que a la construcción se refiere hasta la creación de nuevos softwares de trabajo que permiten la automatización y facilitación de muchos procesos a día de hoy.

Actualmente existe un gran vínculo entre la arquitectura y la tecnología, ya que se diseña cada vez más enfocada a este campo produciendo mejores resultados y permitiendo grandes avances. Dentro de todos estos campos que abarca la tecnología dentro de la arquitectura, destaca la automatización de mucho de los procesos que incluyen el funcionamiento de las construcciones tales como, sistemas de control de la iluminación, sistemas de control de seguridad, sistemas de control en elementos de protección, sistemas de control de ventilación y climatización... Todos estos sistemas son de gran relevancia ya que permiten automatizar y realizar cambios instantáneos para la mejora del confort, salubridad y requerimientos de un edificio. Es de todos estos procesos donde nace el nuevo concepto de “edificio inteligente” que consiste en dotar a un edificio de sistemas automatizados y autorregulados que permite la optimización de eficiencia convirtiéndolo en uno más sostenible y amable con el medio que ocupa, además estos edificios son capaces de recabar información a través de los sensores que permitirán al software hacer procesos predictivos.

Los sistemas de control de la iluminación tienen gran relevancia respecto a la eficiencia del sistema y el ahorro económico que pueden suponer. Actualmente en la mayoría de los edificios de no nueva construcción, existe un sistema de todo/nada, esto quiere decir que no hay posibilidad de regular la iluminación de los espacios en función de las necesidades de los usuarios ni en función de cómo varíe por ejemplo la luz natural durante el transcurso del día, esto supone un gran impedimento ya que como es lógico en función de la distancia a la que se encuentre el usuario del elemento captador las necesidades varían notablemente, es por ello que en muchas ocasiones podemos encontrar casos como: debido a que el usuario que se encuentra ubicado más alejado del elemento captador si necesita un aporte de luz artificial el que se encuentra más próximo al hueco, al encender la luz artificial finalmente se encuentra con exceso de iluminación que igualmente crea una situación de deslumbramiento incómoda para la realización de las actividades. Por lo tanto, en este tipo de situaciones podemos ver un desaprovechamiento de la luz natural que aparte supone un descenso en la calidad de confort del usuario.

Un ejemplo es que un estudio realizado por el profesor Schule - Markwort en la clínica de Psicología Infantil y Juvenil del hospital de Hamburgo demostró que una correcta iluminación en cuanto a parámetros de intensidad, temperatura de color y dinamismo pueden incrementar hasta un 35% la velocidad lectora reduciendo a su vez hasta un 45% los errores en la comprensión. Parámetros que se pueden determinar y modificar a través de los sistemas de control.

Por suerte, actualmente contamos con diversas posibilidades a la hora de elegir el tipos de sistema de control de las luminarias, en el desarrollo posterior de este trabajo se utilizarán a parte del sistema todo/nada, un sistema de control por línea y un sistema de control donde cada luminaria funcione de forma individual. De esta manera se podrá cuantificar cuanto es la mejora del sistema enfocado a los aspectos de confort del usuario, y además de cuánto más sostenible lo convierte, ya que como se comentaba anteriormente, a menos consumo, menores emisiones de CO2 hacia el medio ambiente. Por último, esta reducción del consumo irá directamente relacionada con el ahorro económico final que se podría poner frente al coste de la instalación y descubrir así, si económicamente es rentable o no.



(15) Fig.- Esquema explicativo funcionamiento sistemas de control. Maquetación y fuente ISDEEI.

## 1.5 NORMATIVA

A continuación se describirá la normativa que se ha tenido en cuenta para la realización de este estudio, cabe destacar que España casi no existe normativa de obligado cumplimiento respecto a las condiciones de iluminación, sin embargo si se hace referencia a ciertos aspectos.

- Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento básico DB-HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

Es aplicable en caso de renovación o ampliación de parte de la instalación o para cambios de uso, y la norma expone que *“Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.”*

Cabe destacar que en este documento es el único lugar en el que se hace referencia a tener en cuenta el entorno que rodea nuestro edificio para el correcto aprovechamiento de la luz natural, en su apartado 3.4 Sistemas de aprovechamiento de la luz natural.

- UNE - EN 1246.1 Norma europea sobre la iluminación para interiores.

Cabe destacar de esta norma que el propio prólogo hace mención en el apartado de espacios educativos que la instalación de iluminación tiene que proporcionar un espacio visual confortable, adecuado y suficiente según la actividad a realizar a los usuarios además de garantizar la máxima eficiencia energética del sistema y define que el objeto del documento es *“...recoger pautas y recomendaciones indicadas en la norma UNE 12464-1, con la finalidad de: - Cumplir las recomendaciones de calidad y confort visual. – Crear ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones...”*

Por otro lado, de esta norma se tomarán los valores de umbral de iluminación para realizar el estudio según la actividad, en la tabla 2. Edificios educativos, del apartado establecimientos educativos.

- Real Decreto 39, año 1997, riesgos laborales.

## 2. OBJETIVOS.

### 2.1 OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales que se pretende alcanzar en este TFG, será obtener el aprendizaje y los conocimientos para poder realizar un estudio sobre el aprovechamiento de la luz natural en un aula a través de métricas dinámicas analizando ciertas variables. Asimismo se buscará su optimización a través de los sistemas de control con los que hoy contamos que mejor se adapten al espacio, pudiendo finalmente conocer los impactos económicos y ambientales resultantes de la integración de estos sistemas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos en los que se centrará este TFG serán:

OE1.- Obtener los conocimientos necesarios para poder desarrollar un estudio de aprovechamiento de la luz natural en un espacio a través de métricas dinámicas en función de distintas variables, con la utilización del Software Climate Studio. En este caso concreto el espacio será un aula docente.

OE2.- Obtener los conocimientos para poder analizar los resultados obtenidos (DAs y ASE) y ser capaces de trabajar con ellos de forma adecuada.

OE3.- Analizar tres tipos de sistema de control hoy presentes en nuestros mercados, para poder definir con cual/es se obtienen mejores resultados respecto a la optimización en nuestras instalaciones.

OE4.- Comprobar si estos sistemas de control tienen un impacto positivo o no, respecto al coste final y las emisiones.

## UNIDAD B

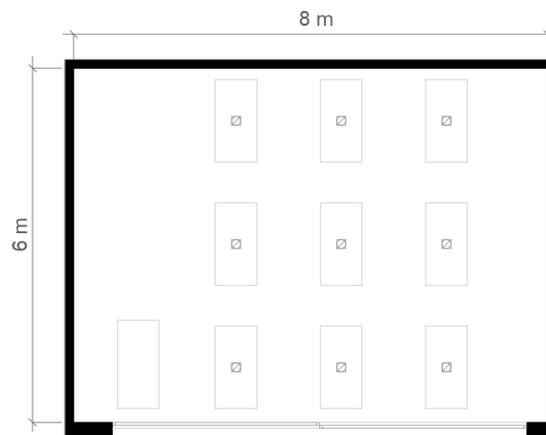
### 3. METODOLOGÍA

En primer lugar se procederá a exponer cómo será el modelo en el que se realizarán los diferentes análisis. En este caso se escogerá un modelo que consistirá en una aula tipo universitaria con una localización (que no orientación) exacta, concretamente en Sevilla.

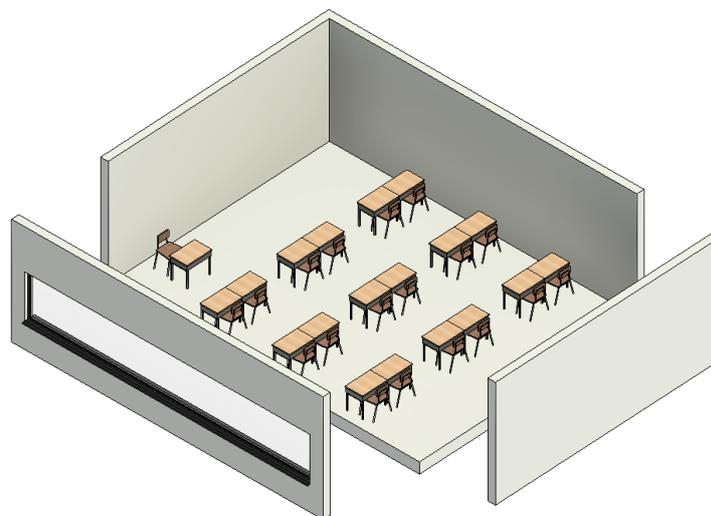
En ella se realizarán varias modificaciones para así poder estudiar dicha aula en diferentes condiciones, las transformaciones que se le realizarán en primer lugar serán las de carácter pasivo: cambio de orientación, cambio en las dimensiones de los elementos captadores de iluminación natural y en último lugar su entorno. Con esto se pretende encontrar cuáles son las fortalezas y debilidades de cada modelo, para así después desarrollar el sistema de control de más adecuado en cada ocasión.

#### 3.1 AULA TIPO.

El aula tendrá unas dimensiones de 6x8m obteniendo un área total de 48 m<sup>2</sup>.



(16) Fig.- Esquema aula tipo. Maquetación y fuente propia.



(17) Fig.- Volumetría aula tipo. Maquetación y fuente propia.

En siguiente lugar se definirá el color de los materiales que componen el aula tipo y la reflectancia de estos debido a que influye directamente en los resultados que obtendremos posteriormente, y es que como se explicó anteriormente, alguno de los parámetros utilizados en el caso de estudio, tienen en cuenta la luz rebotada ya este tipo de luz aporta luxes de forma indirecta. Así que a la hora de saber el aporte de luz necesaria es un factor a tener en cuenta.

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	REFLECTANCIA
SUELO	0,4
TECHO	0,8
PAREDES	0,75
VENTANA	0,75

### 3.2 VALORES DE CÁLCULO.

Por otro lado debemos establecer una serie de valores mínimos en los parámetros que sirven para realizar el análisis del aprovechamiento de la iluminación natural en el aula, tal como el umbral mínimo (luxes), que será la cantidad de luz mínima para realizar la actividad.

Estos valores de análisis escogidos para el caso de estudio se han seleccionado en base a lo expuesto en la normativa “UNE 12464.1. Norma europea sobre la iluminación para interiores.” Se tendrá en cuenta la tabla 2. Edificios educativos. Nº Referencia 2.1 Aulas, aulas educativas.

Finalmente tenemos que para el aula tipo se establecerá como punto de partida lo siguientes valores:

- Iluminancia mantenida Em 300lx
- Límites de UGR (límite índice de deslumbramiento unificado) 19
- Índices de rendimiento de colores (Ra) 80
- Uo 0,6
- Observaciones: La iluminación debería ser controlable

### 3.3 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

#### 3.3.1 VARIABLES PASIVAS

Para poder realizar un estudio lo suficientemente completo, debemos analizar el modelo tipo en diferentes condiciones, pues como sabemos en lo referente a la luz y la arquitectura hay ciertos factores que influyen de forma determinante en los valores que obtendremos.

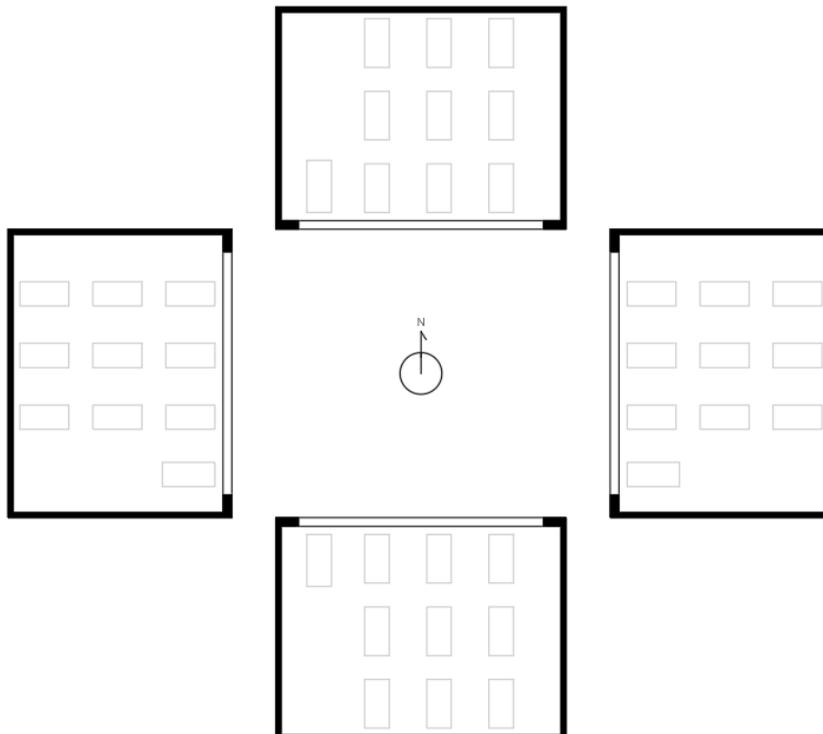
La luz es un elemento que se presenta cambiante constantemente, no es igual la cantidad de luz a primera hora de la mañana, que a medio día o en la caída de sol, al igual que dependerá directamente de las condiciones climáticas de ese día. Así mismo, referido al ámbito de la arquitectura, no es lo mismo una luz proveniente del este, que ilumina mayoritariamente en las horas de la mañana frente a una luz proveniente del oeste que ilumina en las horas de la tarde. De igual importancia son los elementos captadores, ya que dependiendo de su tamaño, ubicación y materiales dejarán pasar mayor o menor cantidad de luz natural.

Por último también a tener en cuenta el entorno que rodee al espacio, pues no será lo mismo un edificio completamente exento de edificaciones o vegetación que un edificio con un entorno edificado, pues en este último caso tendremos que tener en cuenta la sombra arrojada que pueden provocar estos elementos sobre nuestro espacio impidiendo la captación de luz solar.

En definitiva las tres variables a analizar en el caso de estudio serán: Orientación, elementos captadores, entorno y obstrucciones:

#### ORIENTACIÓN:

Las aulas se analizarán en las orientaciones: norte, sur, este y oeste.



(18) Fig.- Esquema orientación aulas. Maquetación y fuente propia.

### ELEMENTOS CAPTADORES:

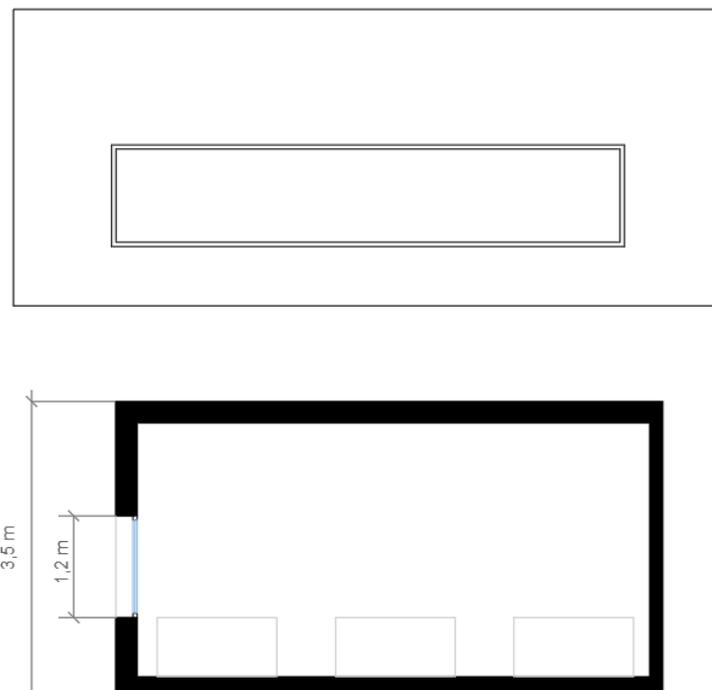
Se estudiarán diferentes tipos de huecos:

1. Sup 30% total de la fachada
2. Sup 20% total de la fachada
3. Sup 10% Total de la fachada

Todas serán de forma rectangular y continuada, pues como se ha demostrado en otros estudios como son lo que mejor funcionan es espacios de este carácter docente. Por otro lado quedan fuera de este estudio los huecos cenitales dado que no son un tipo de captador habitual en las aulas y por lo tanto carecen de interés para el desarrollo de este trabajo.

### Aula ventana grande, 30% de la superficie:

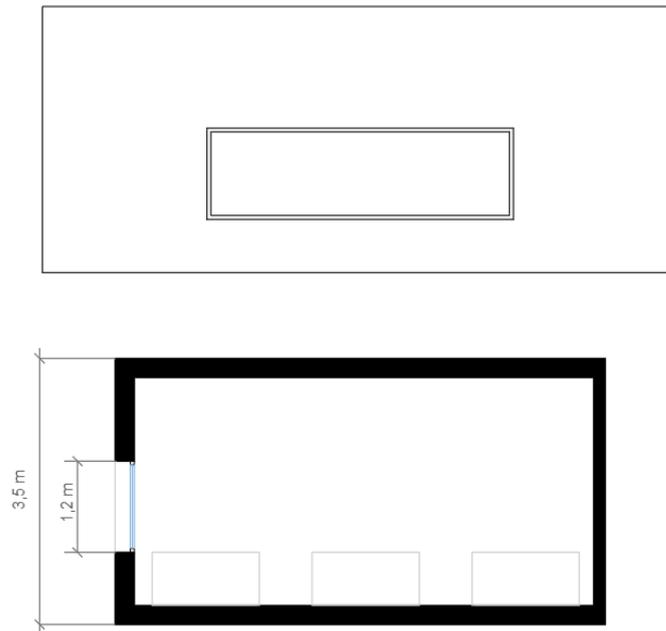
Superficie total de la ventana 7,2m<sup>2</sup> ; Dimensiones 6 x 1,2 m



(19) Fig.- Esquema aula tipo ventana grande. Maquetación y fuente propia.

Aula ventana mediana, 20% de la superficie:

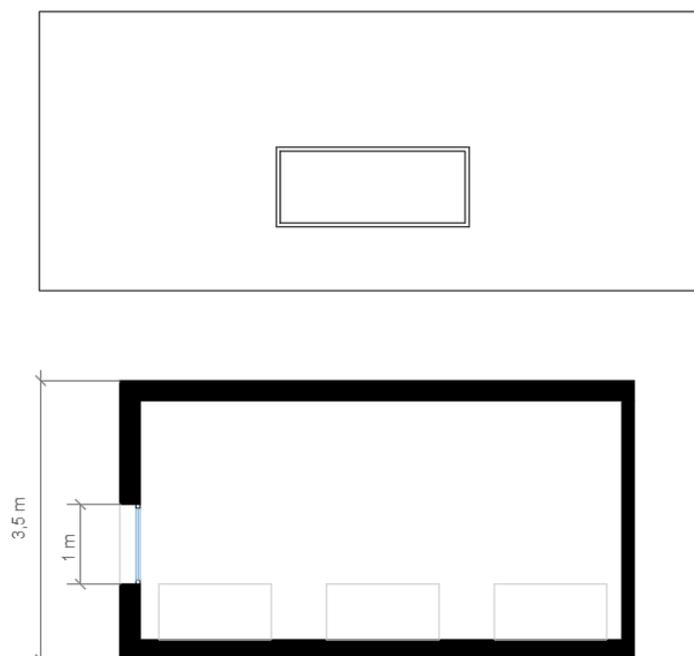
Superficie total de la ventana 4,8 m<sup>2</sup> ; Dimensiones 4 x 1,2 m



(20) Fig.- Esquema aula tipo ventana mediana. Maquetación y fuente propia

Aula ventana pequeña, 10% de la superficie:

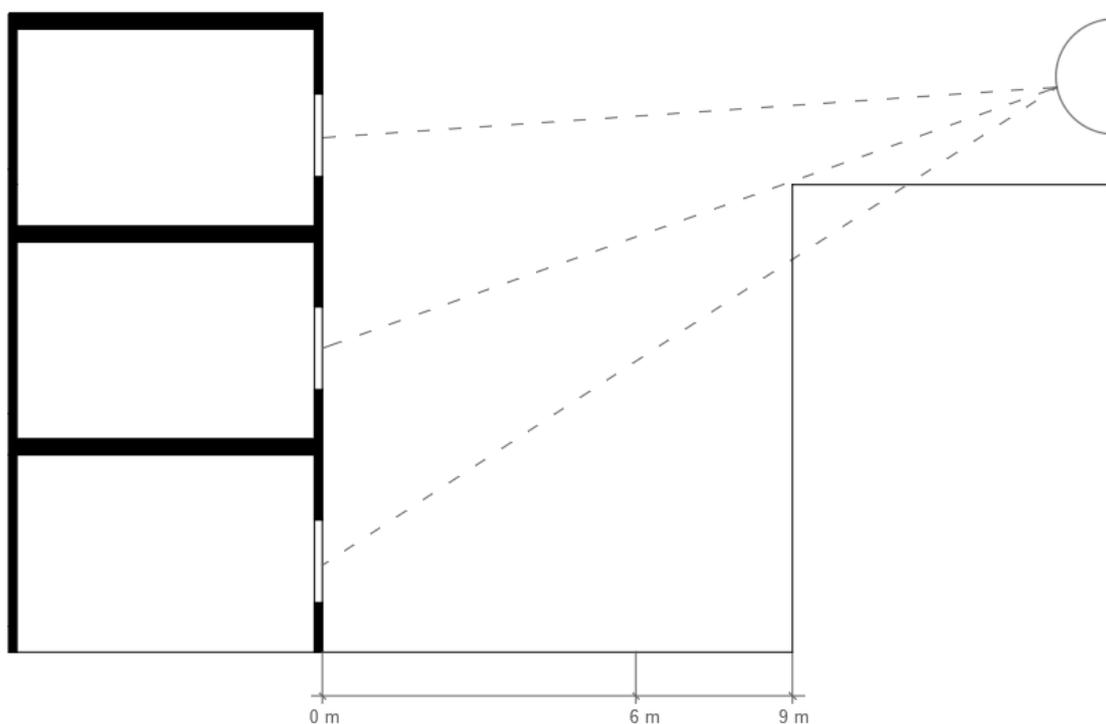
Superficie total de la ventana 2,4 m<sup>2</sup> ; Dimensiones 2,4 x 1 m



(21) Fig.- Esquema aula tipo ventana pequeña. Maquetación y fuente propia

### ENTORNO Y OBSTRUCCIONES:

Se analizarán con un entorno edificado próximo, a una distancia total de 6m, un entorno con una edificación próximo-media, a una distancia total de 9 metros y por último en el caso de un hueco sin obstrucciones. De esta forma se podrá contemplar y tener en cuenta los valores de sombra arrojada, ya que actualmente estos casos con edificaciones cercanas son lo más habitual, además los valores de sombra arrojada influirán de forma directa en los valores de cálculos, emisiones de CO2 y consumo.



(21) Fig.- Esquema entorno, obstrucciones y distancias. Maquetación y fuente propia

### 3.3.2 VARIABLE ACTIVA.

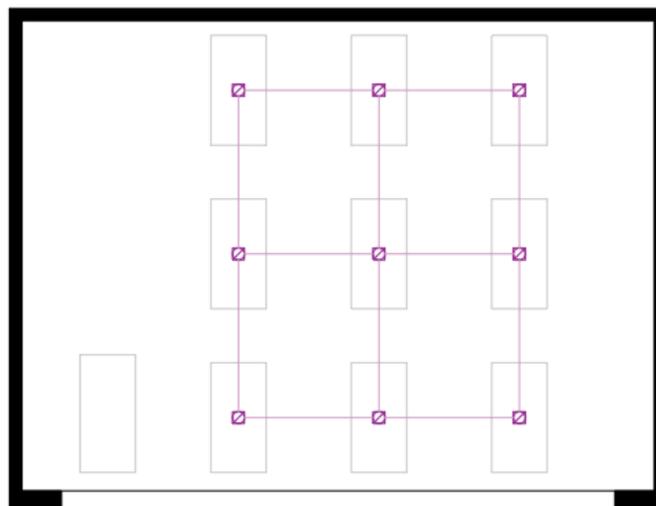
Se analizarán tres tipos de sistema de control para poder ver las posibilidades que pueden aportar en cada modelo. Con estos sistemas de control se buscará mejorar la eficiencia de la instalación y el confort de los usuarios, ya que a través de los resultados obtenidos seremos capaces de saber cuánto tiempo y que aporte de luz será necesario, por lo que dependiendo de las situaciones unos sistemas podrán adaptarse mejor a unas que otras.

Por otro lado, a través de estos sistemas podremos conocer, cuanto consumo podemos reducir y por lo tanto a cuanto se reducirán las emisiones de CO2 y el coste del funcionamiento.

Por último, aunque no sea el tema principal que ocupe este TFG, mencionar que a estos sistemas de control se les puede añadir otros tipos de parámetros que mejore la instalación y el confort de los usuarios, tales como regulación en color de la luminaria, intensidad...

#### **Sistema de control todo nada.**

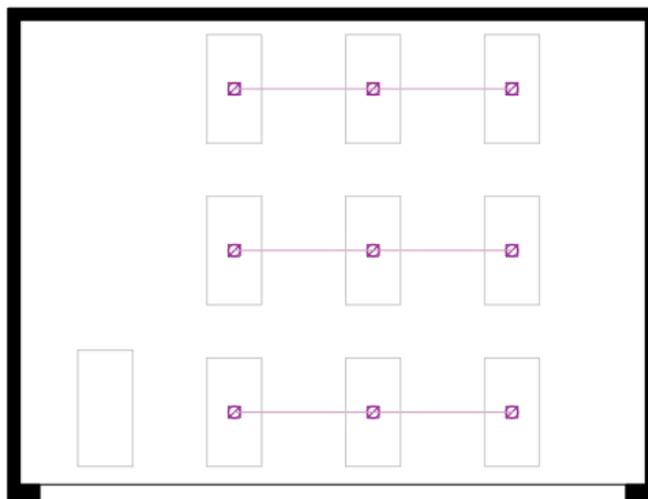
Este sistema funciona de tal forma que si queremos encender una luminaria se encenderán todas, actualmente es un sistema que se encuentra aún muy presente sobre todo en edificios de mayor vida útil. En un primer lugar, aparenta ser la más desfavorable, ya que como se ha explicado con anterioridad la luz no se distribuye de forma homogénea a través de una superficie por lo que se puede deducir que las necesidades en cada punto varíen.



(22) Fig.- Esquema sistema de control todo nada. Maquetación y fuente propia

### Sistema de control todo nada.

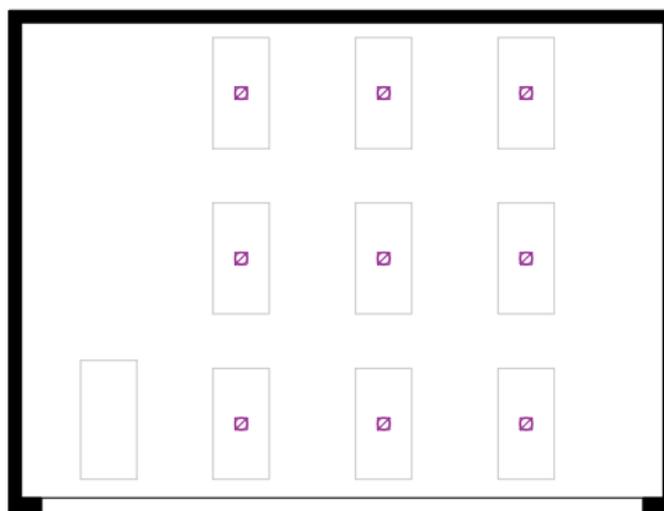
Este sistema funciona presenta unas prestaciones que se adaptan mejor a lo que puede ser la distribución de la luz en un espacio, con este sistema no estamos obligados a encender todas las luces de golpe, por lo que se pueden ir encendiendo de forma progresiva según se requiera, pero si estaremos obligados a encender a la vez todas las luminarias que se encuentren en esa línea.



(23) Fig.- Esquema sistema de control por línea. Maquetación y fuente propia

### Sistema de control individual.

Este sistema es el sistema más actual frente a los otros presentados, a través de él se podrá controlar cada luminaria de forma completamente independiente, por lo que, cada luminaria en función de las necesidades que se requieran en el lugar que ocupe podrá adaptar.



(24) Fig.- Esquema sistema de control individual. Maquetación y fuente propia

### 3.4 HERRAMIENTA DE CÁLCULO Y DEFINICIÓN DE LA MÉTRICA DE CÁLCULO.

Una vez definidos estos modelos se introducirán en el programa Rinho y se analizarán con el pluging del programa Climate Studio, con el que trabajaremos a partir de métricas dinámicas.

En este caso de estudio, nos ubicaremos concretamente en Sevilla, y a través del archivo climático que proporciona este software podremos conocer como es un año tipo. Es decir nos dará los valores estimados a cerca de cuantos días de nubes, que cantidad de horas solares...

Este programa nos proporcionará los valores del DA y SEA de nuestras aulas tipo, se ha decidido trabajar con el parámetro Daylight Autonomy ya que este nos proporciona resultados teniendo en cuenta un cielo en condiciones, algo que se asemeja más al tipo de cielo que existe en la ubicación seleccionada.

### 3.5 HERRAMIENTA DE CÁLCULO Y DEFINICIÓN DE LA MÉTRICA DE CÁLCULO.

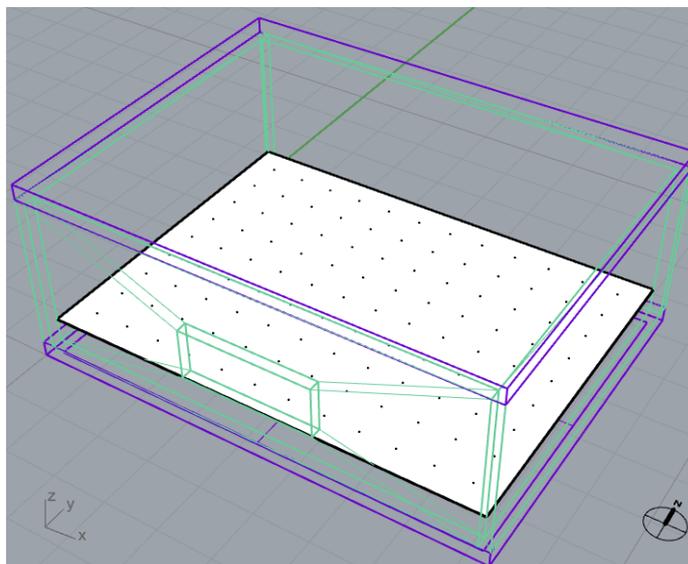
Finalmente, tras tener los resultados obtenidos por el programa, y analizando también los sistemas de control, obtendremos cual será la reducción final del consumo energético de nuestra instalación. Con ello, a través de un sencillo cálculo podremos saber también cuántas emisiones de CO2 hemos conseguido no producir, consiguiendo reducir la contaminación al medio ambiente.

## UNIDAD C

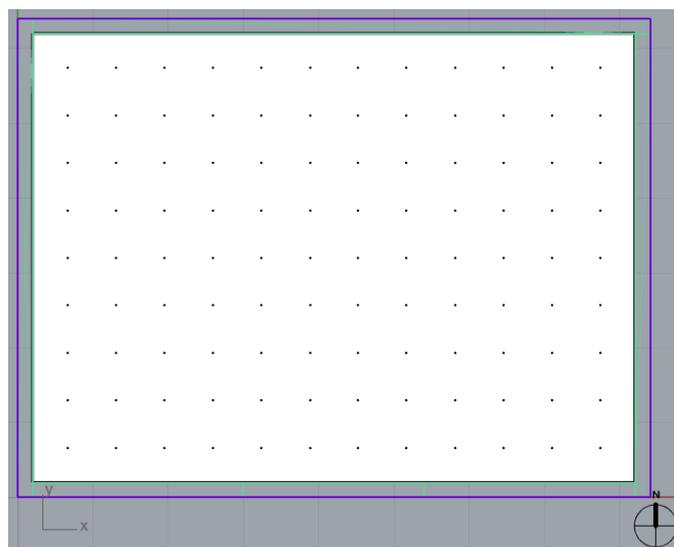
#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS PARÁMETROS CLIMATE STUDIO.

Se analizarán los resultados obtenidos en cada caso a través del software Climate Studio, para cómo se expresaba anteriormente, adquirir conocimiento de cuanta luz artificial sería necesario aportar en cada hipótesis, posteriormente se analizará qué tipo de sistema de control podría funcionar mejor. Los parámetros analizados serán: sDA y ASE, que han sido explicado con anterioridad.

El software nos dará valores a través de los “puntos de control” establecidos, un total de 100 repartidos por la superficie total del espacio, así mismo el plano de trabajo se ha establecido a 0,7m de altura, lo que correspondería con la altura de una mesa estándar de un aula.



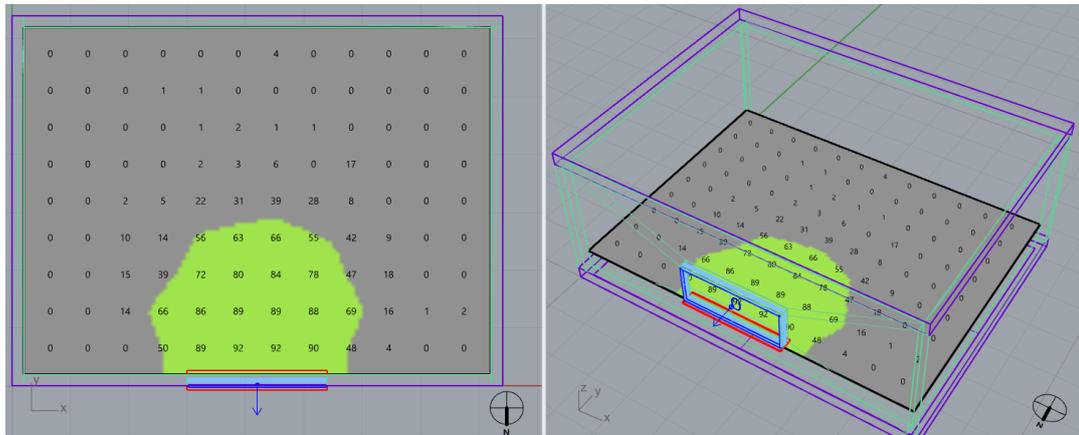
(25) Fig.- Volumetría aula tipo puntos de control. Maquetación y fuente propia



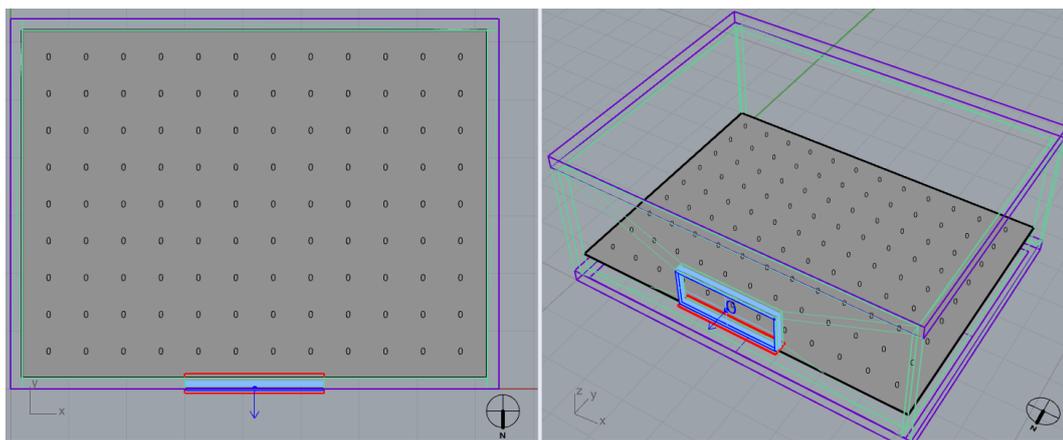
(26) Fig.- Planta aula tipo puntos de control. Maquetación y fuente propia

## AULA VENTANA PEQUEÑA SIN OBSTRUCCIONES

### ORIENTACIÓN NORTE

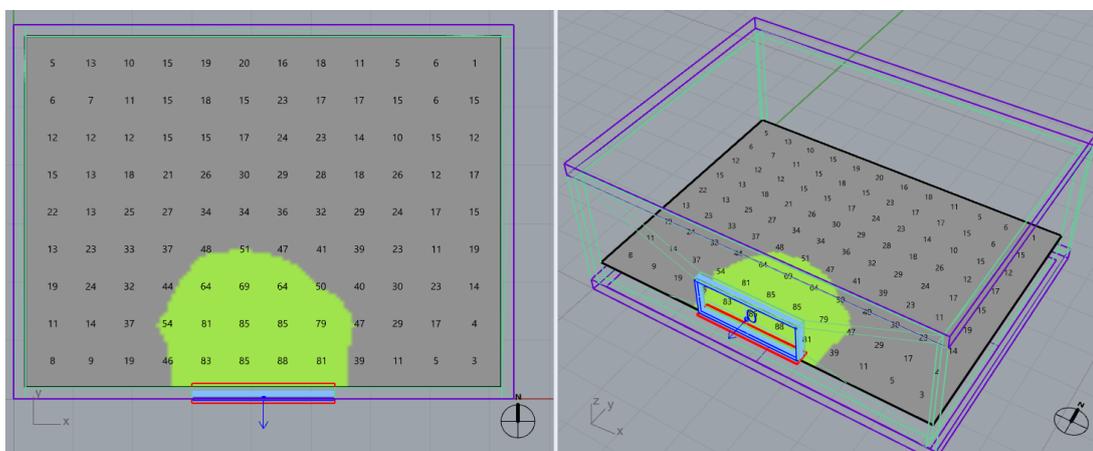


(27) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



(28) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

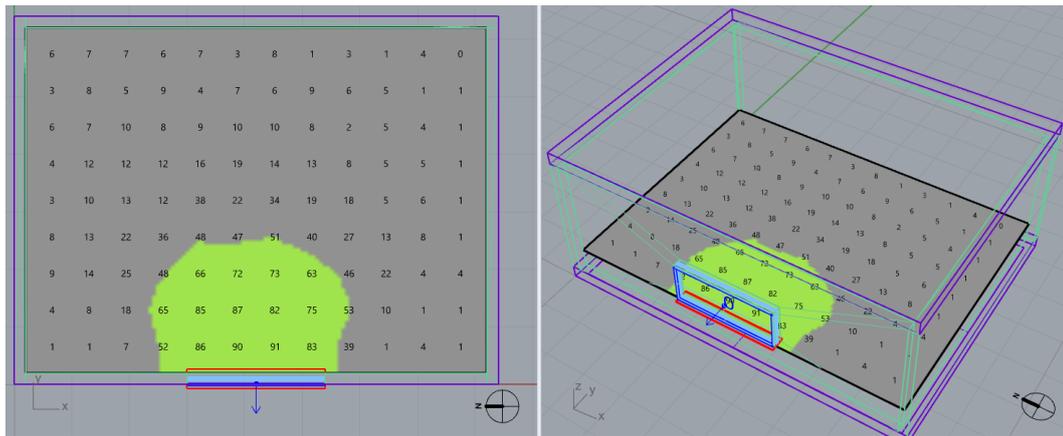
### ORIENTACIÓN SUR



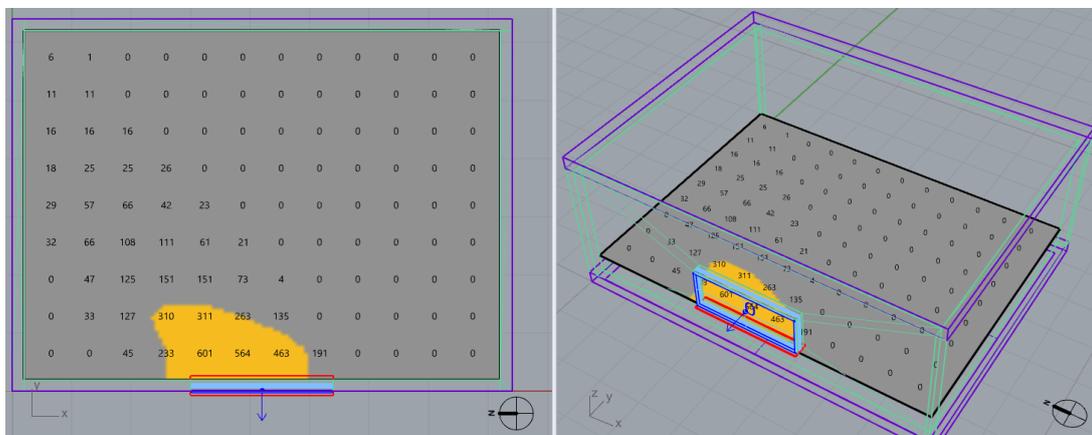
(29) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



## ORIENTACIÓN OESTE



(33) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



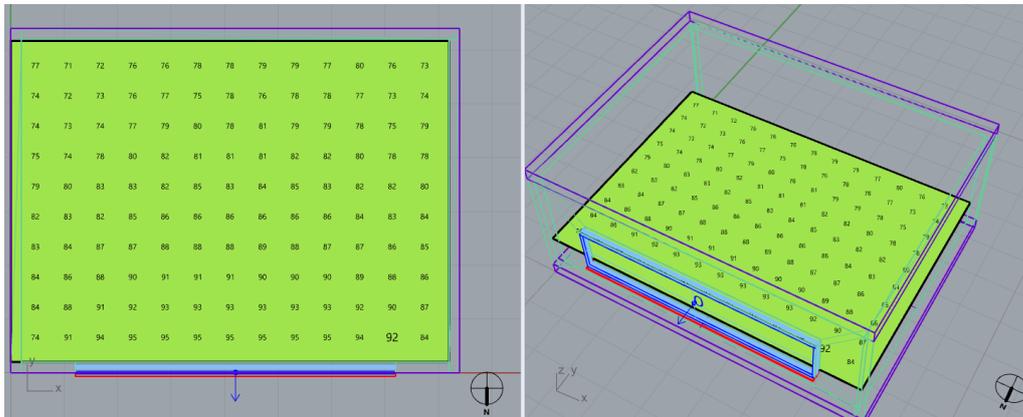
(34) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	16,7%	13%	15,7%	14,8%
ASE	0	10,2%	10,2%	5,6%

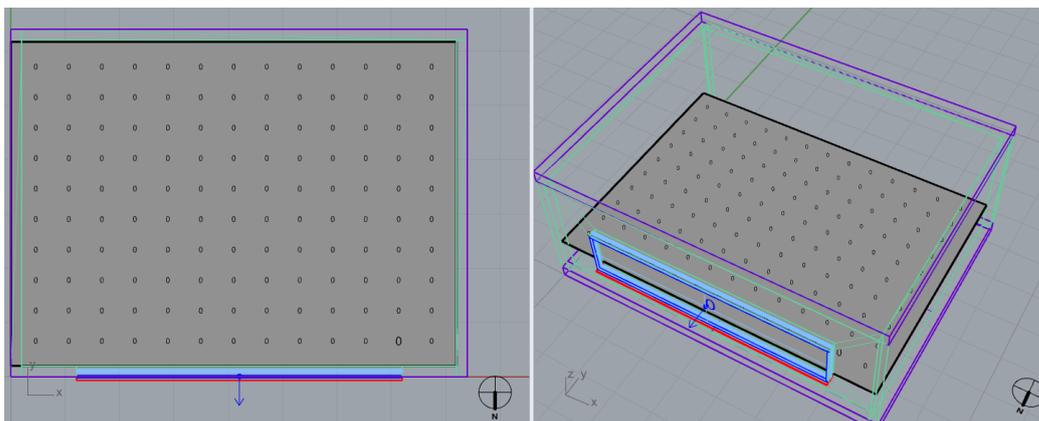
Obtenemos como resultado en la ventana más pequeña, que el sDA, no supera el 20% en ninguno de los casos, con esto sabemos que el aporte de luz eléctrica es necesario el 80% restante del tiempo, la orientación con mejor aporte de luz será la norte. Así mismo se puede observar que en las orientaciones sur y este, el parámetro ASE es superior al 10% en algunos puntos, es por ello que será necesario instalar un sistema de control para la protección solar como estipula la normativa.

## AULA VENTANA MEDIANA SIN OBSTRUCCIONES

### ORIENTACIÓN NORTE

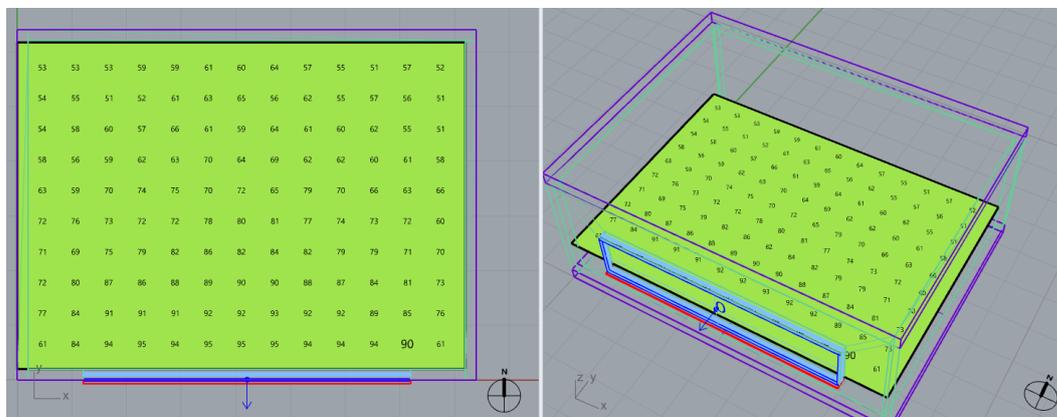


(35) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

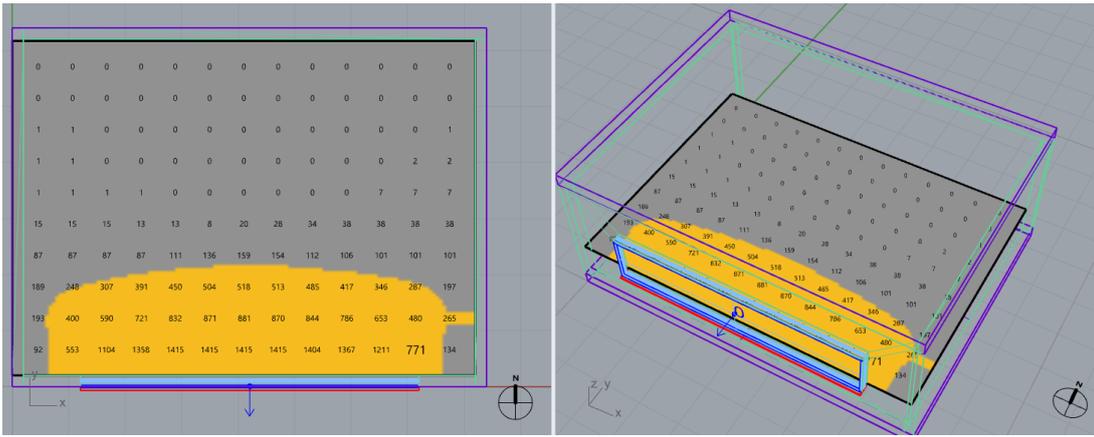


(36) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN SUR

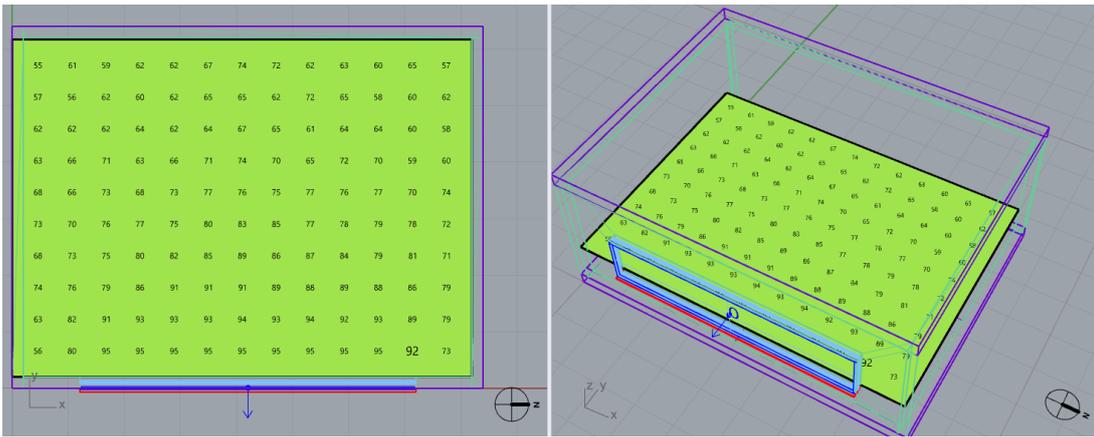


(37) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

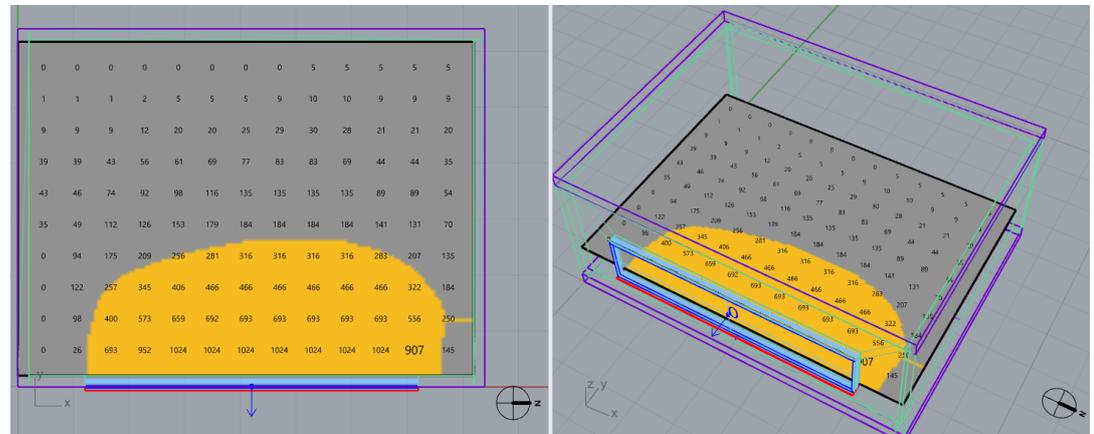


(38) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN ESTE DA<sub>s</sub> ASE

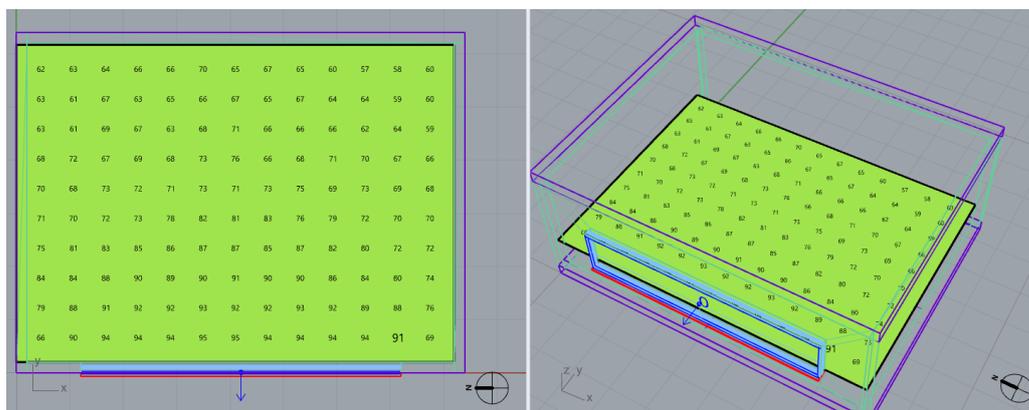


(39) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

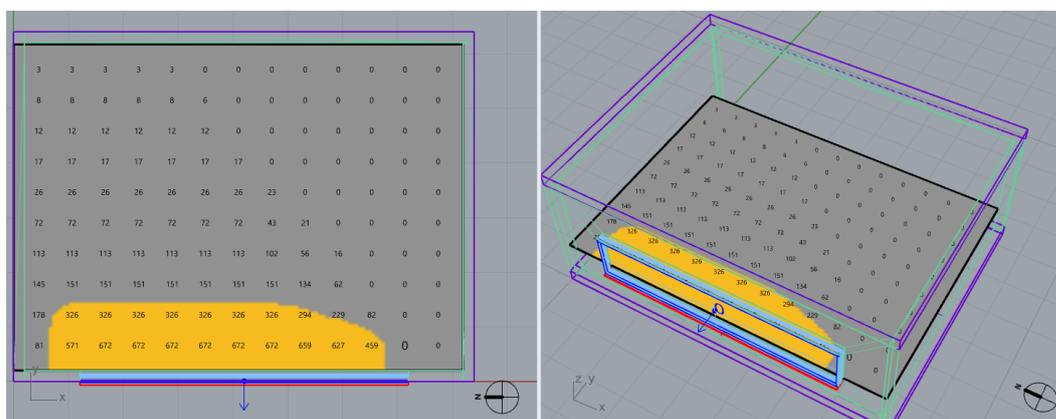


(40) Fig.- Resultados Climate Studio ASE Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN OESTE DAs ASE



(41) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



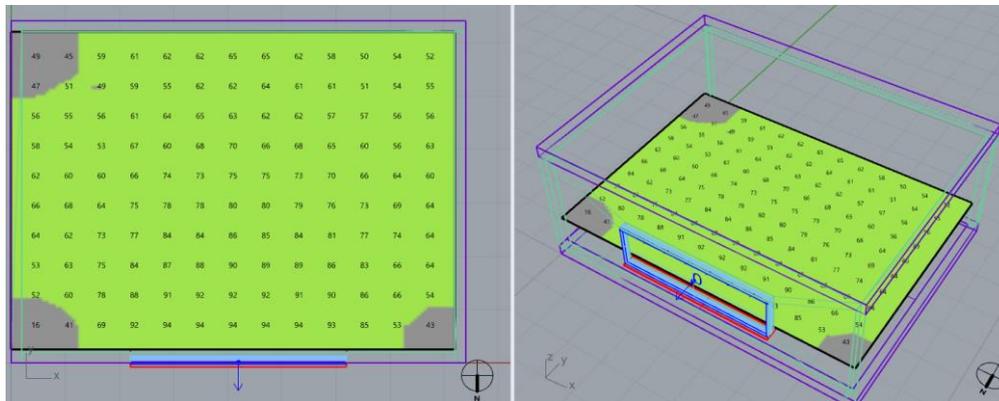
(42) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	94,6%	46,9%	75,4%	73,8%
ASE	0%	18,5%	19,2%	8,5%

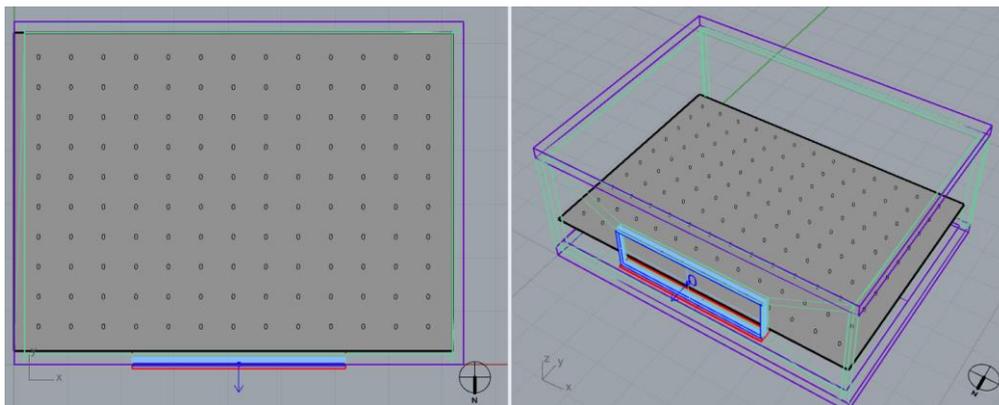
Obtenemos como resultado en la ventana mediana, que el sDA, es significativamente más alto que el caso anterior. La orientación con menor valor es la sur, no llegando al 50% del tiempo, mientras que la norte, alcanza valores casi del 100%. Así mismo se puede observar en las orientaciones sur y este, el parámetro ASE es superior al 10% en algunos puntos, es por ello que será necesario instalar un sistema de control para la protección solar como estipula la normativa.

## AULA VENTANA GRANDE SIN OBSTRUCCIONES

### ORIENTACIÓN NORTE

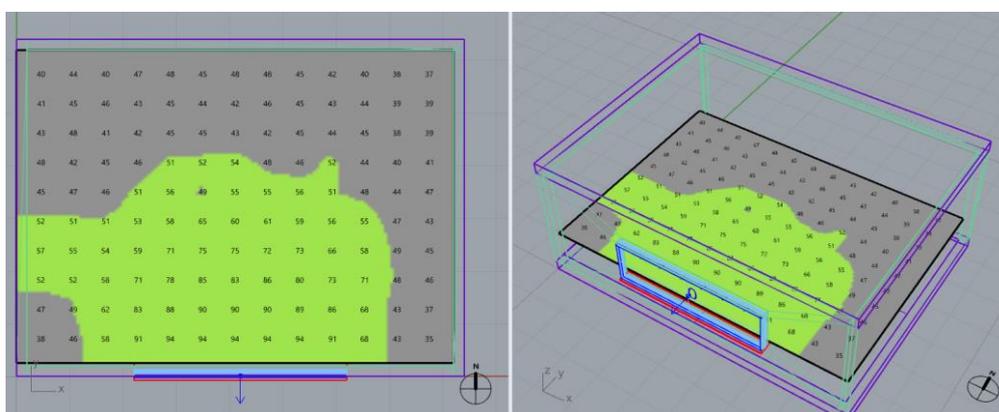


(43) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

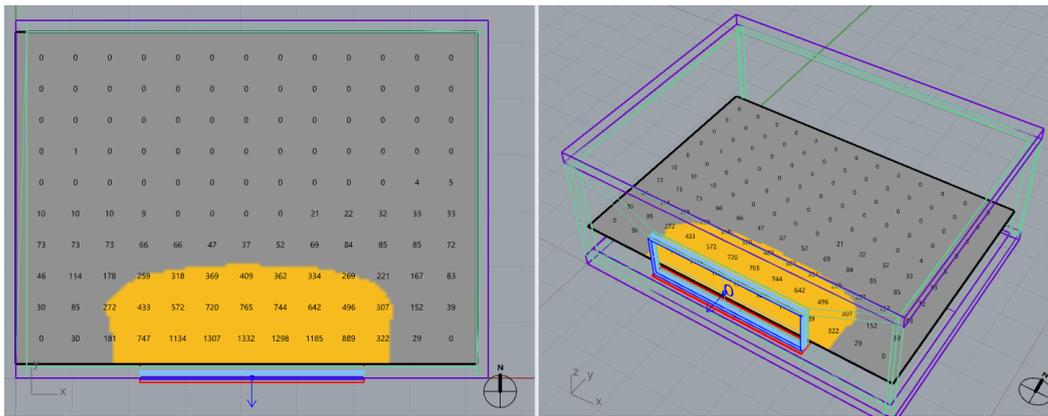


(44) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN SUR

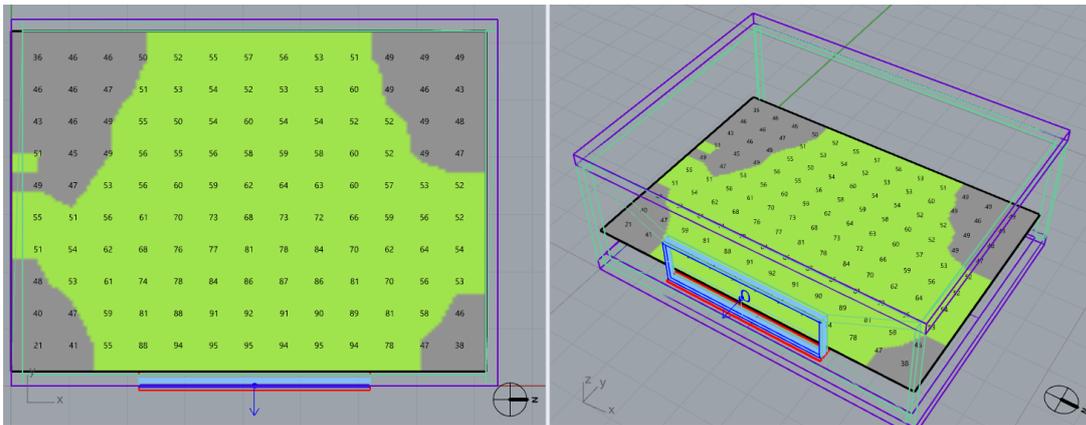


(45) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

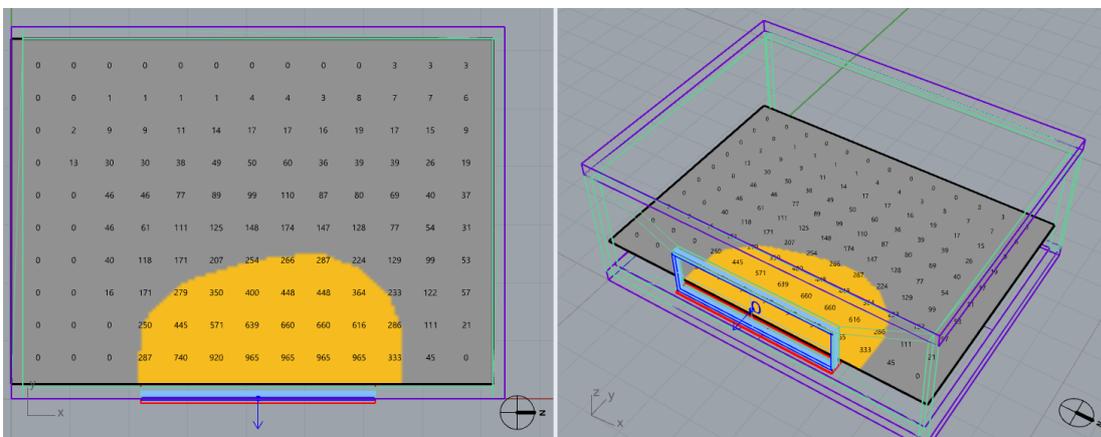


(46) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN ESTE

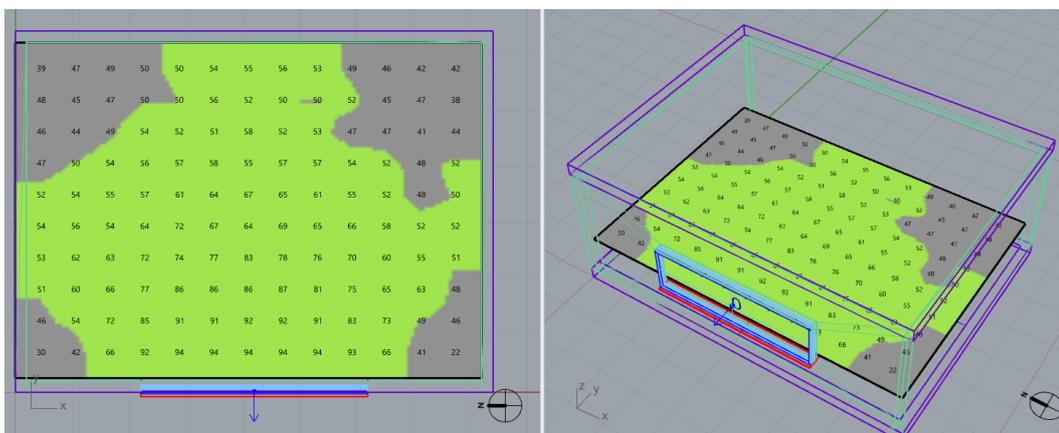


(47) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

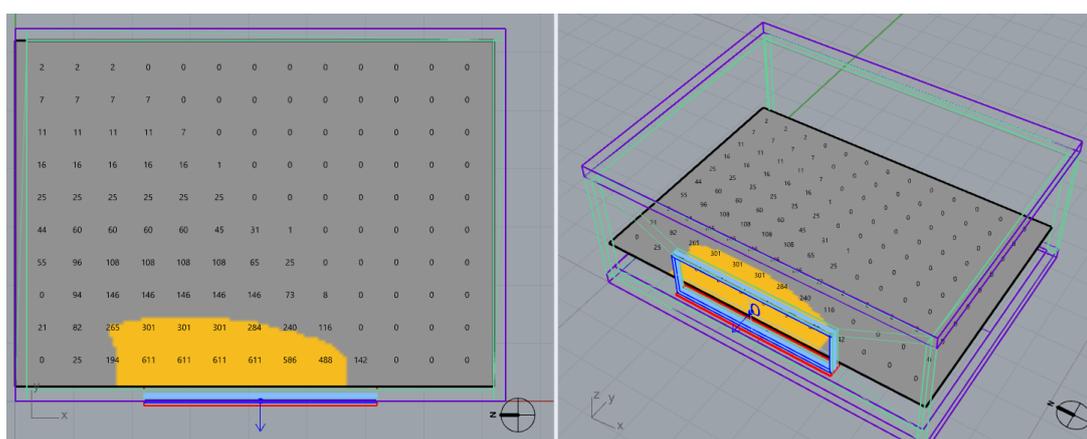


(48) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN OESTE



(49) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



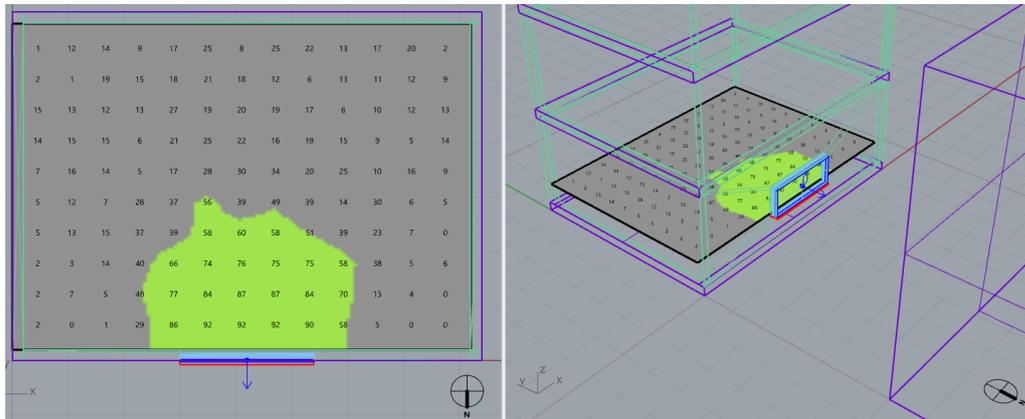
(50) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	100%	100%	100%	100%
ASE	0%	25,4%	29,2%	13,8%

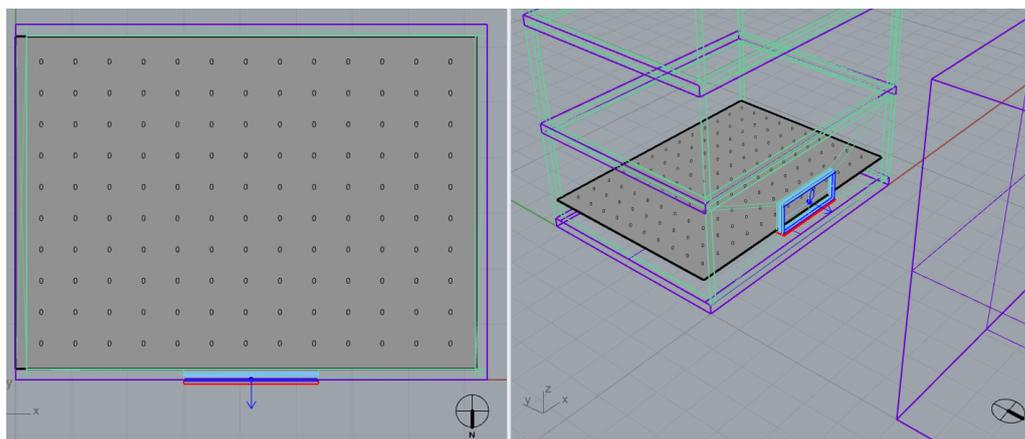
En contraposición de los otros dos casos, podemos observar que la ventana de mayores dimensiones consigue lograr en todas las orientaciones un sDA del 100%, por lo que podemos entender que el aporte lumínico eléctrico será casi nulo. Así mismo se puede observar en todas las orientaciones, a excepción de la norte, el parámetro ASE es superior al 10% en algunos puntos, es por ello que será necesario instalar un sistema de control para la protección solar como estipula la normativa.

## AULA VENTANA PEQUEÑA ENTORNO A 6 m

### ORIENTACIÓN NORTE

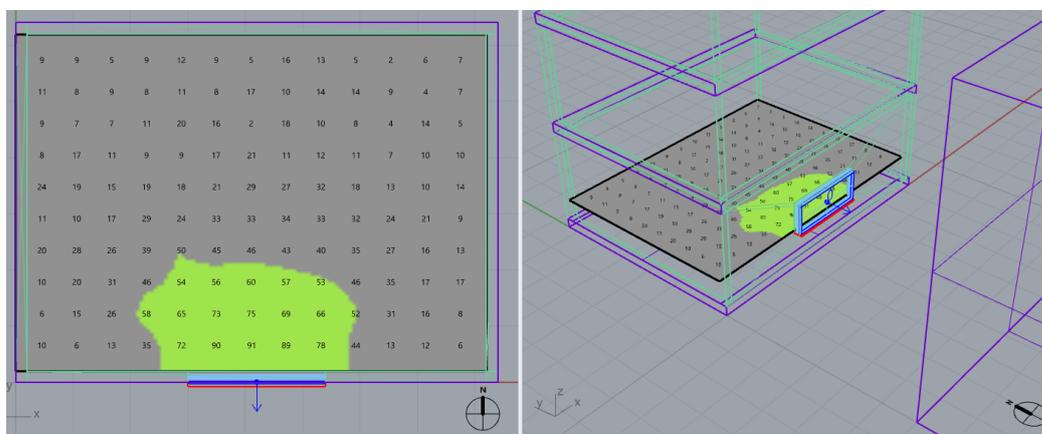


(51) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



(52) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

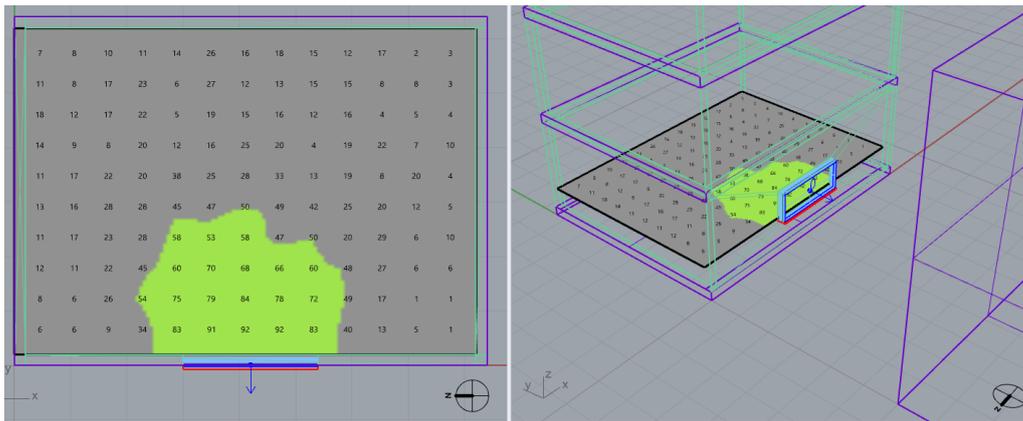
### ORIENTACIÓN SUR



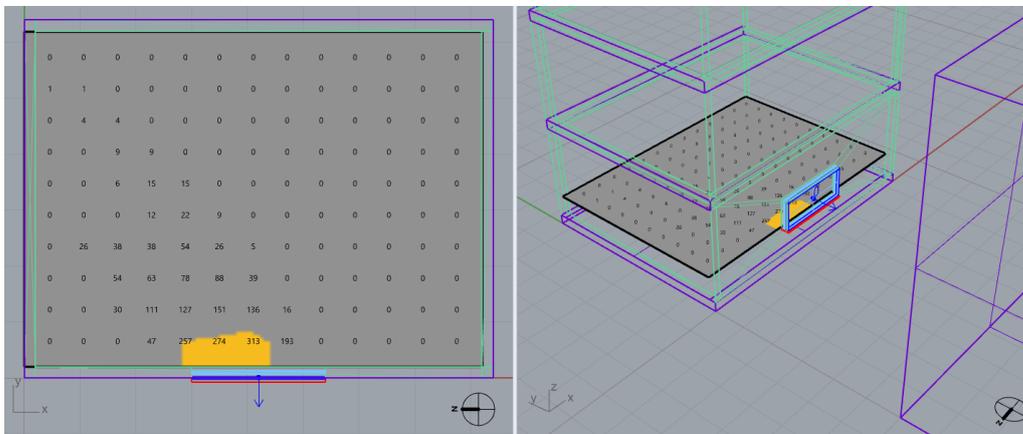
(53) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



## ORIENTACIÓN OESTE



(57) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



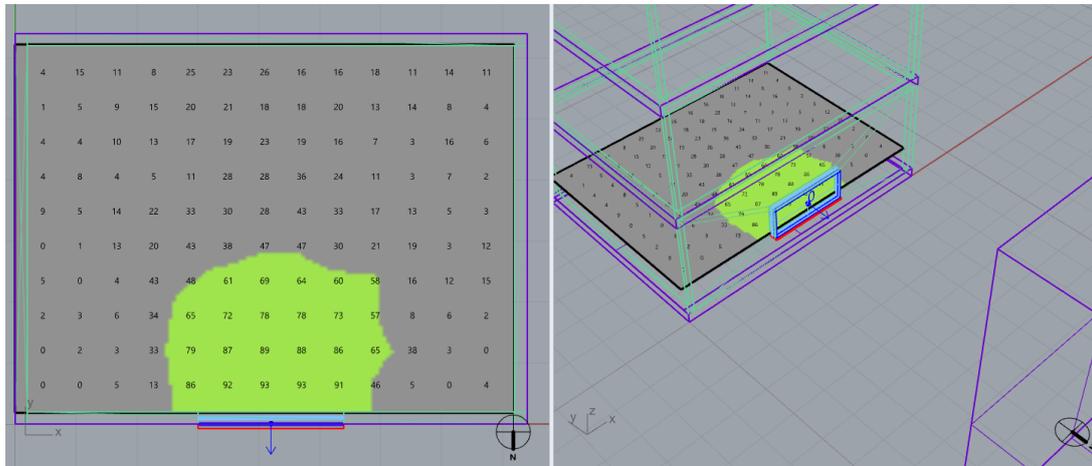
(58 Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	17,7%	13,1%	16,2%	16,2%
ASE	0	3,8%	2,3%	2,3%

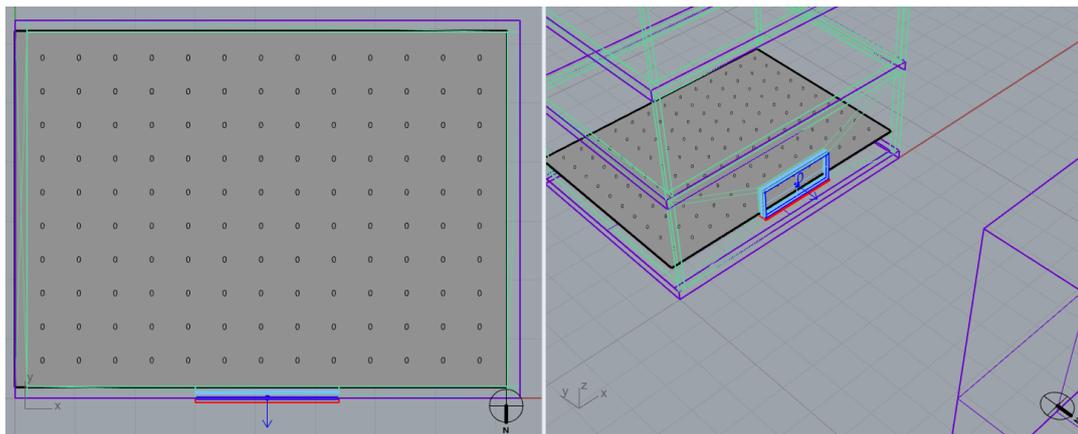
En este modelo, podemos ver que los valores del sDA no han variado de forma notable frente al aula sin obstrucciones, es decir el aprovechamiento de la luz natural es similar, bastante bajo, por lo que el aporte de luz artificial será necesario la mayor parte del tiempo para el adecuado funcionamiento del aula. Sin embargo, respecto al parámetro ASE, si se obtienen variaciones notables, en este caso, debido a la sombra arrojada de la edificación existente, en ninguna orientación se sobrepasa el 10%, por lo que según normativa no sería necesaria instalación de un sistema de control.

## AULA VENTANA PEQUEÑA ENTORNO A 9 m

### ORIENTACIÓN NORTE

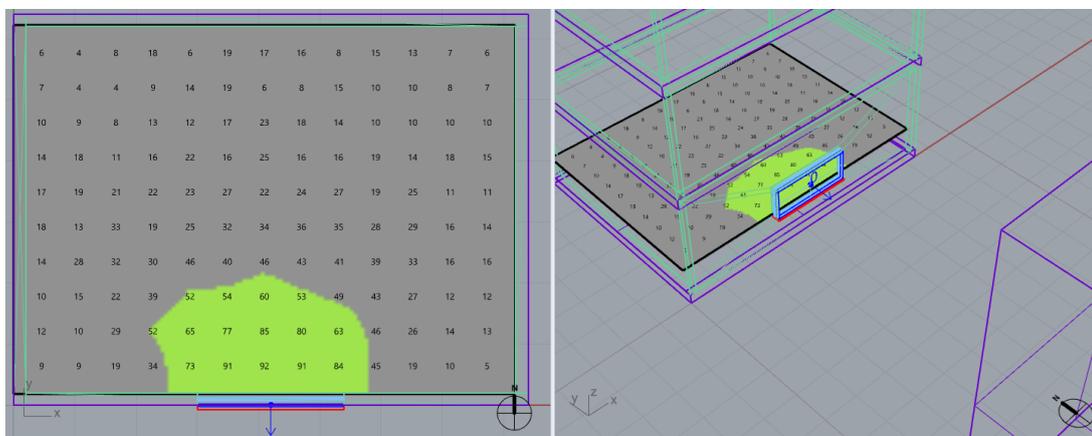


(59) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

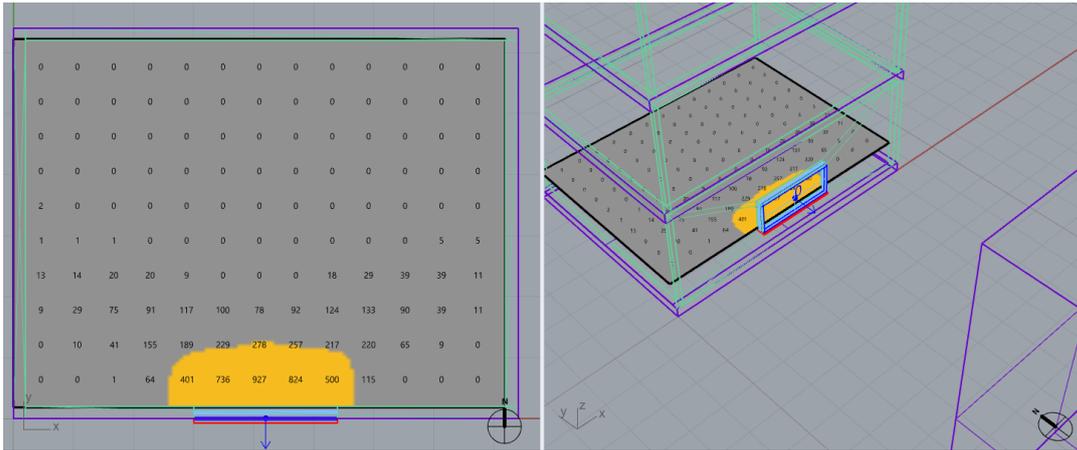


(60) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN SUR

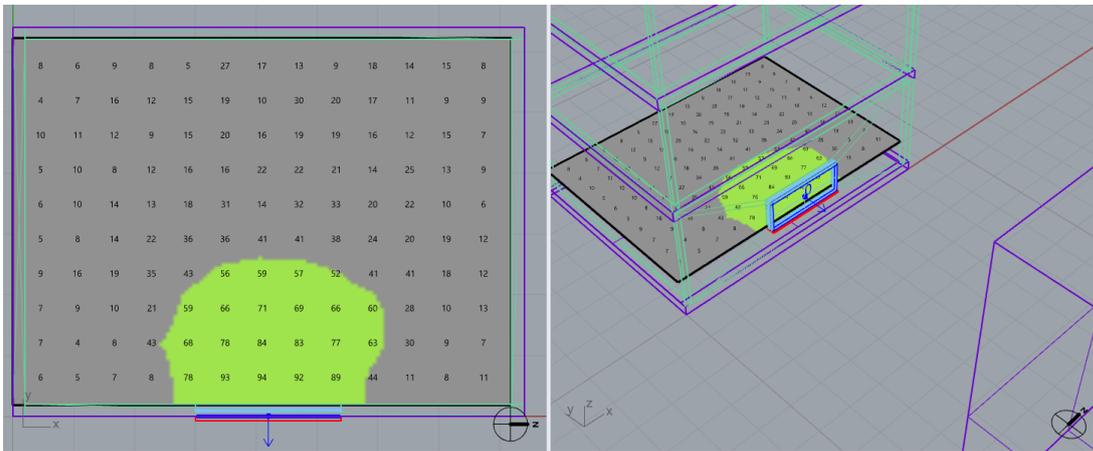


(61) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

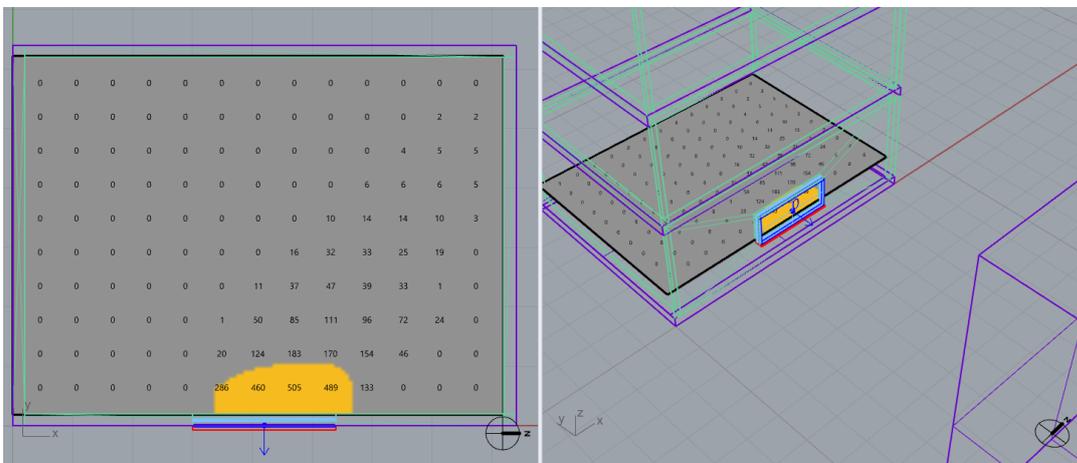


(62) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN ESTE

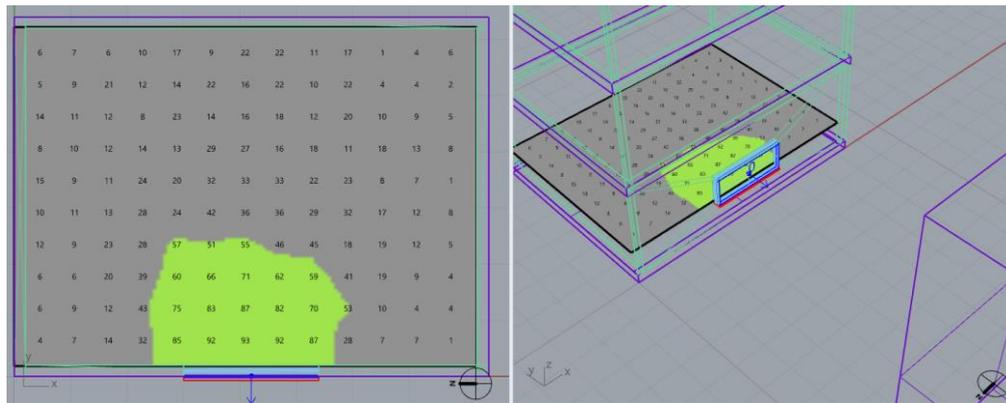


(63) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

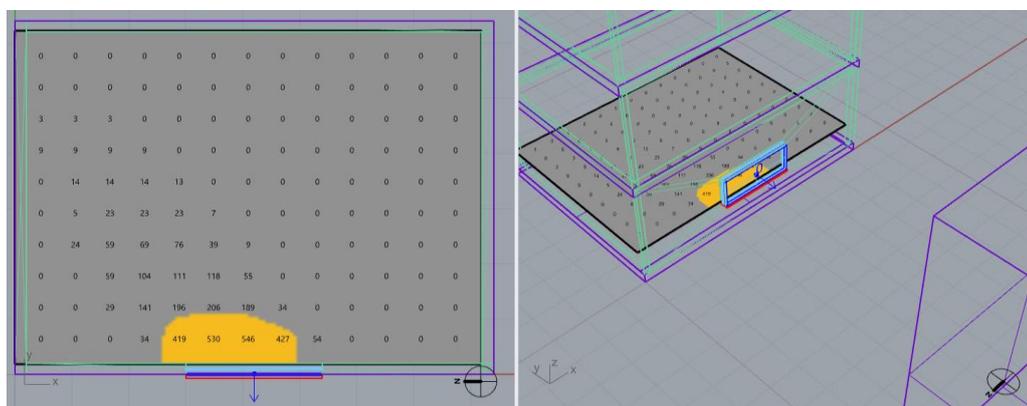


(64) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN OESTE



(65) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



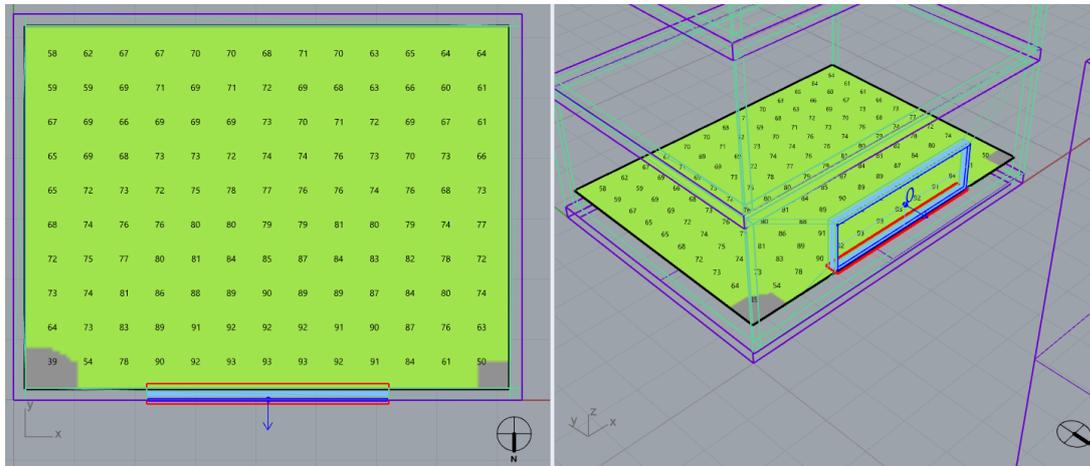
(66) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	16,9%	11,5%	16,2%	14,6%
ASE	0	5,4%	3,1%	3,1%

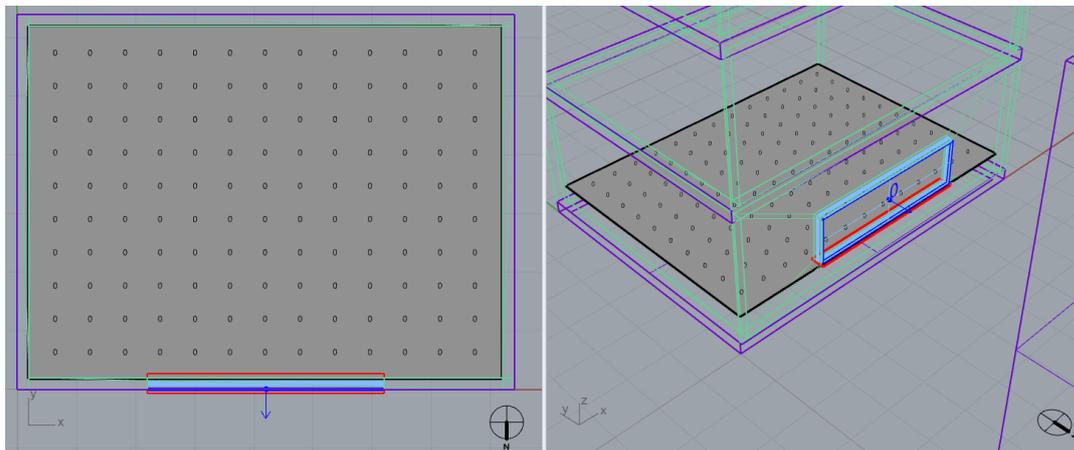
En este caso, con la edificación construida a 9 m, vemos al igual que en el caso anterior que los valores del sDA no han sufrido modificaciones muy notables, los valores permanecen siendo bajos, por lo que el aporte de luz artificial será necesario la mayor parte del tiempo. Sin embargo, el parámetro ASE ha ascendido incluso dos puntos en las orientaciones sur, este y oeste. A pesar de ello, ninguno sobrepasa el 10% por lo que no será necesaria la instalación de un sistema de control.

## AULA VENTANA MEDIANA ENTORNO A 6 m

### ORIENTACIÓN NORTE

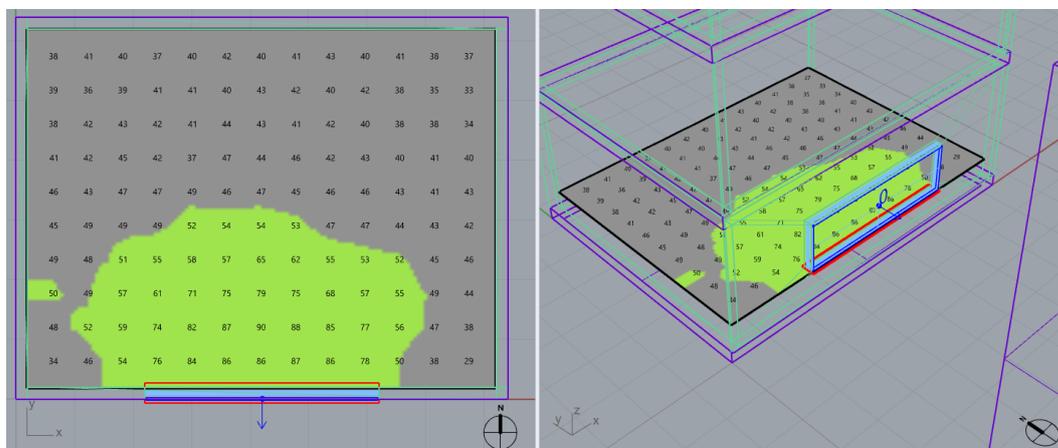


(67) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

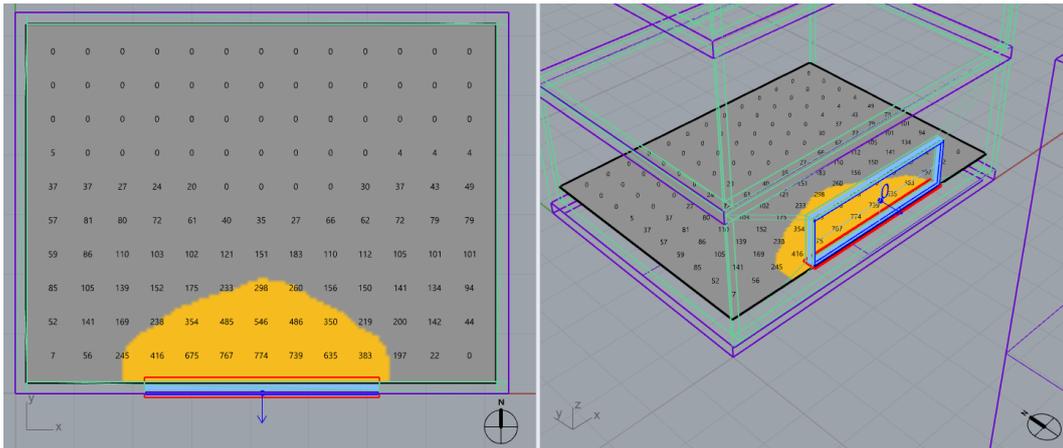


(68) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN SUR

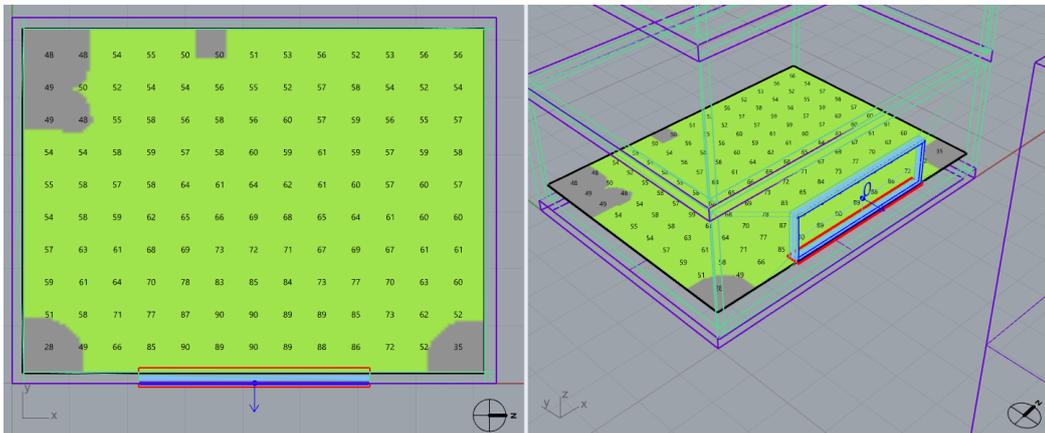


(69) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

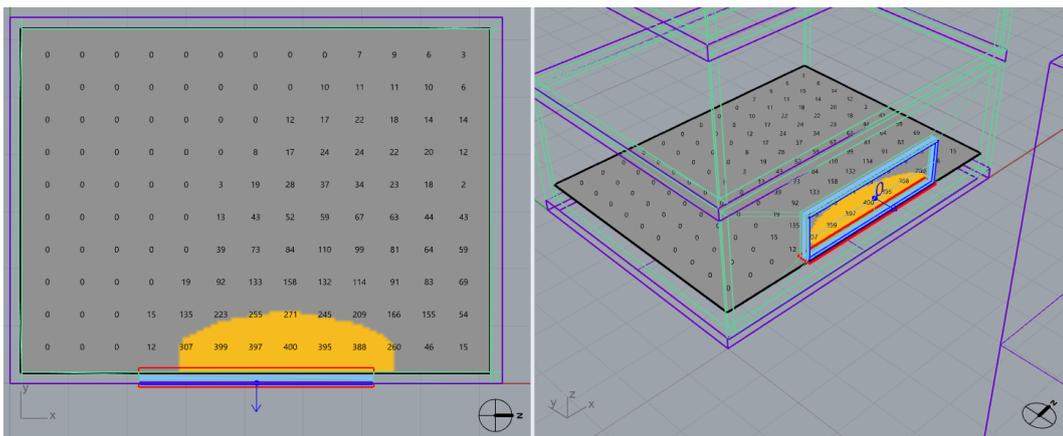


(70) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN ESTE

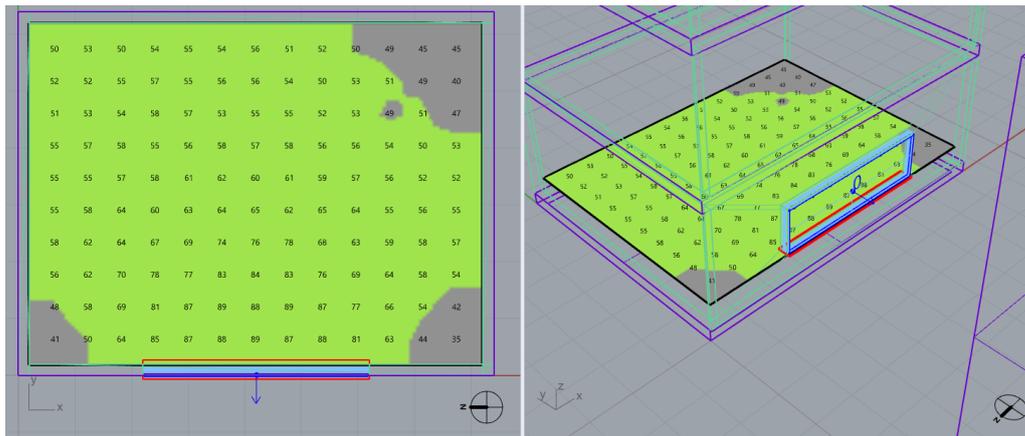


(71) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

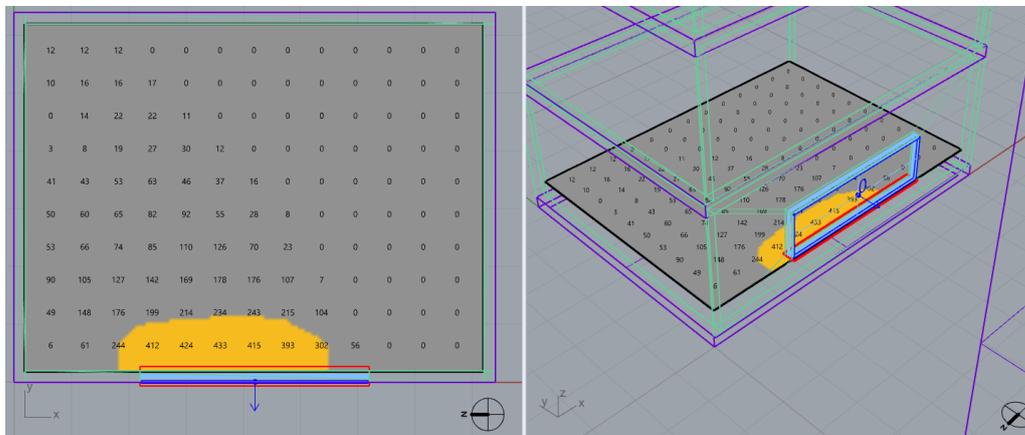


(72) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN OESTE



(73) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



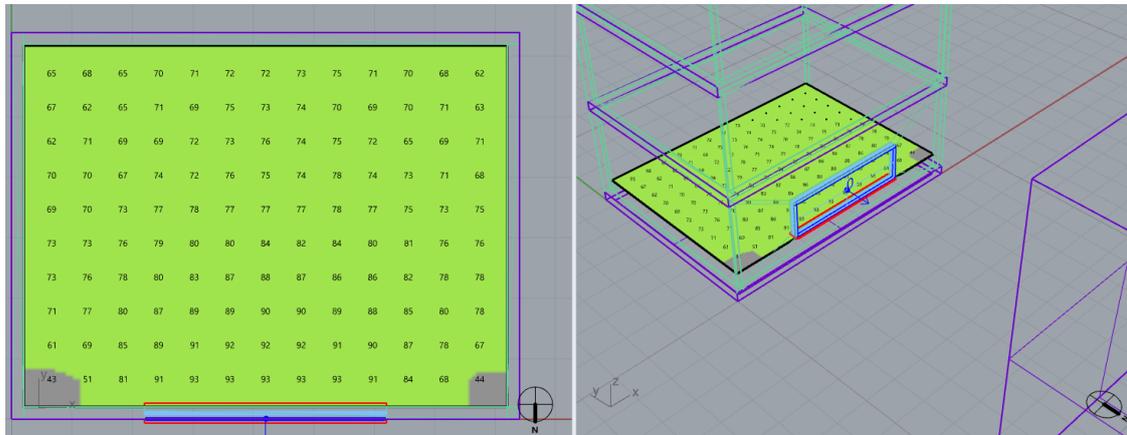
(74) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	98,5%	32,3%	93,1%	89,2%
ASE	0	10,8%	6,9%	4,6%

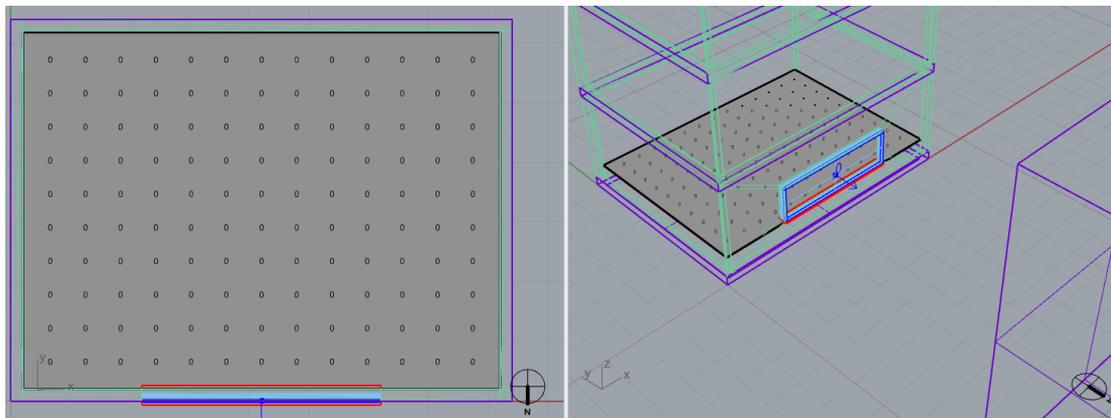
En este modelo de estudio, los valores del sDA, tampoco varían de forma notable a excepción de la sur, que disminuye casi un 20% frente a la ventana sin obstrucciones. El aprovechamiento de luz natural sigue siendo bastante elevado. Sin embargo, respecto al ASE, se mejoran los valores ya que en el modelo sin obstrucciones se superaba el 10% en la orientación este y en este nuevo caso no. Asimismo, la sur baja de un 18,5% a 10,8% y la oeste de un 8,5% a 4,6%.

## AULA VENTANA MEDIANA ENTORNO A 9 m

### ORIENTACIÓN NORTE

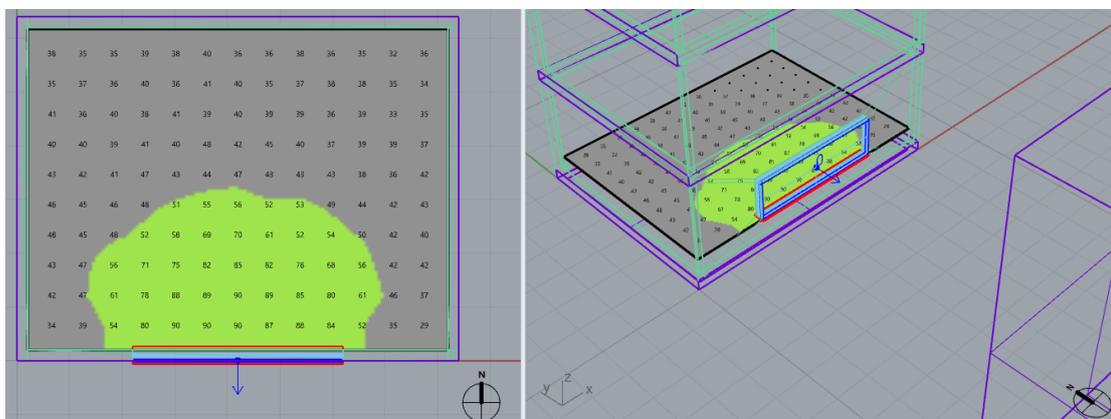


(75) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

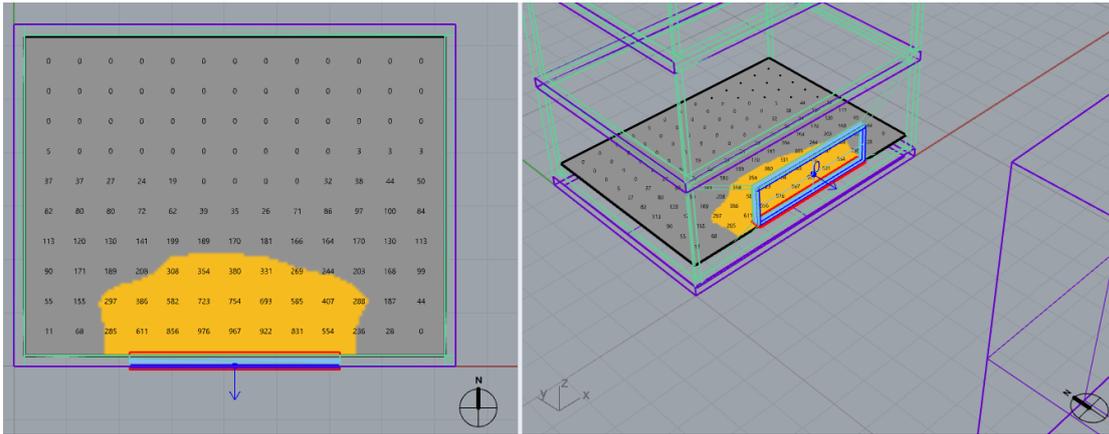


(76) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

### ORIENTACIÓN SUR

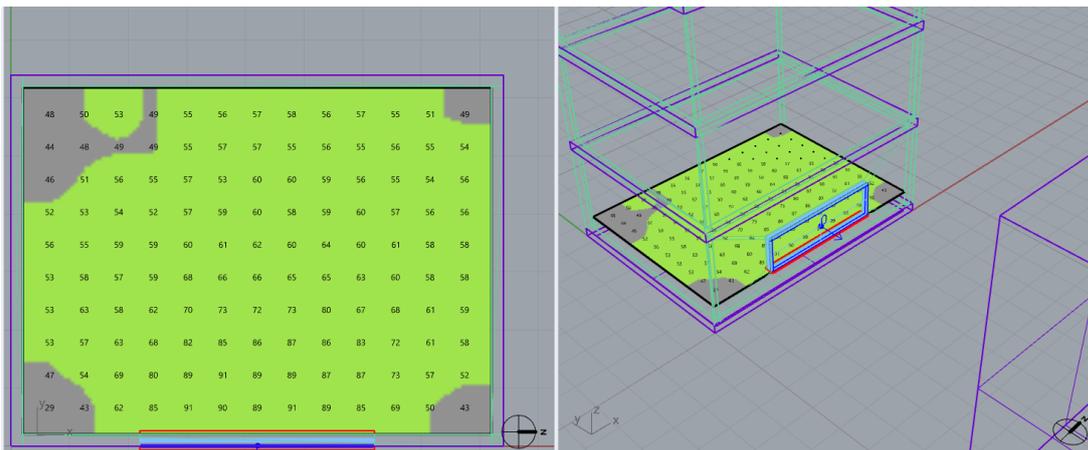


(77) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

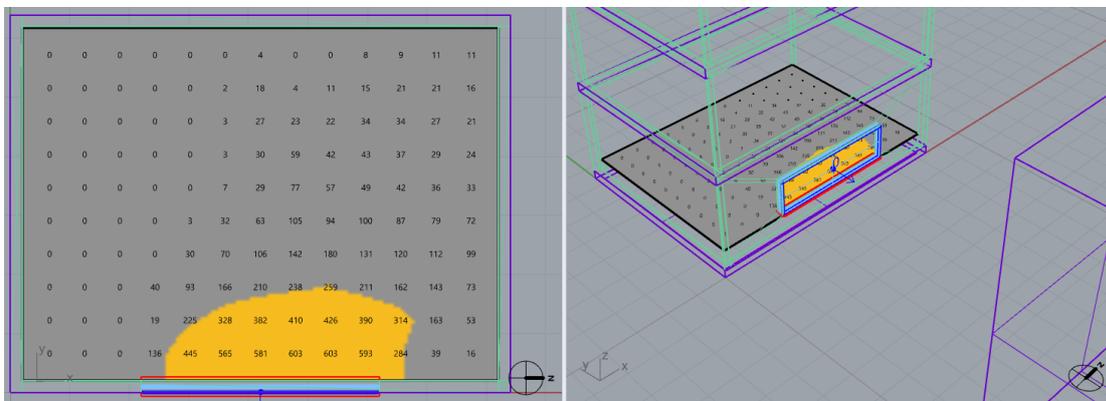


(78) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN ESTE

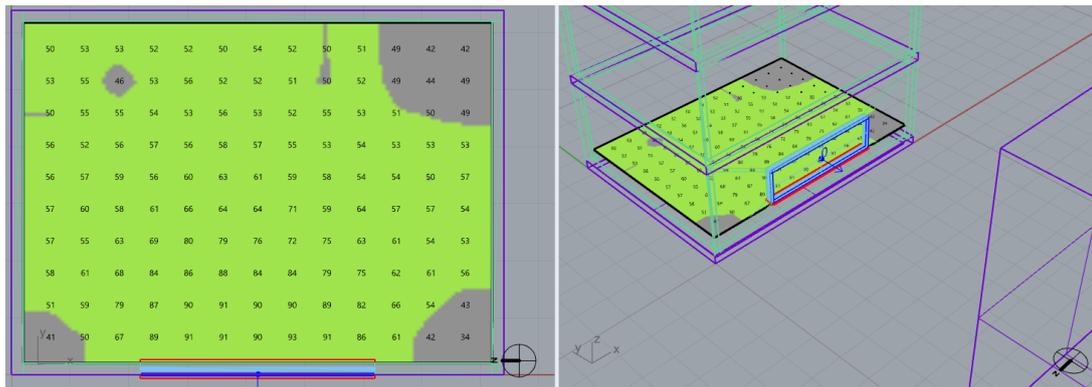


(79) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia

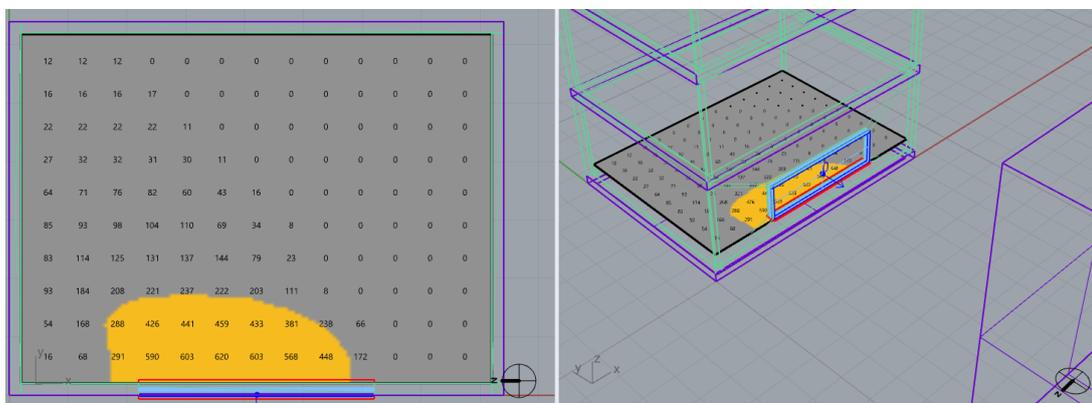


(80) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

## ORIENTACIÓN OESTE



(81) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



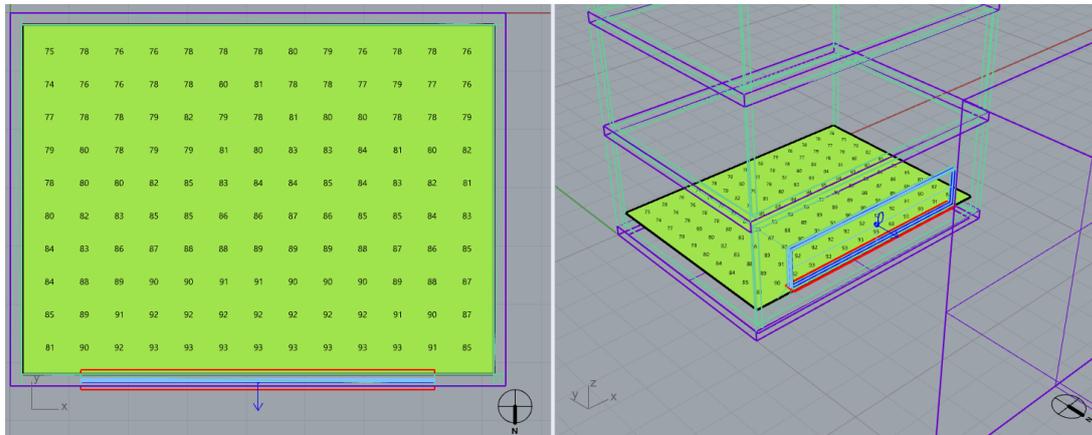
(82) Fig.- Resultados Climate Studio ASE Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	98,5%	30%	90%	86,2%
ASE	0	16,9%	10,8%	10%

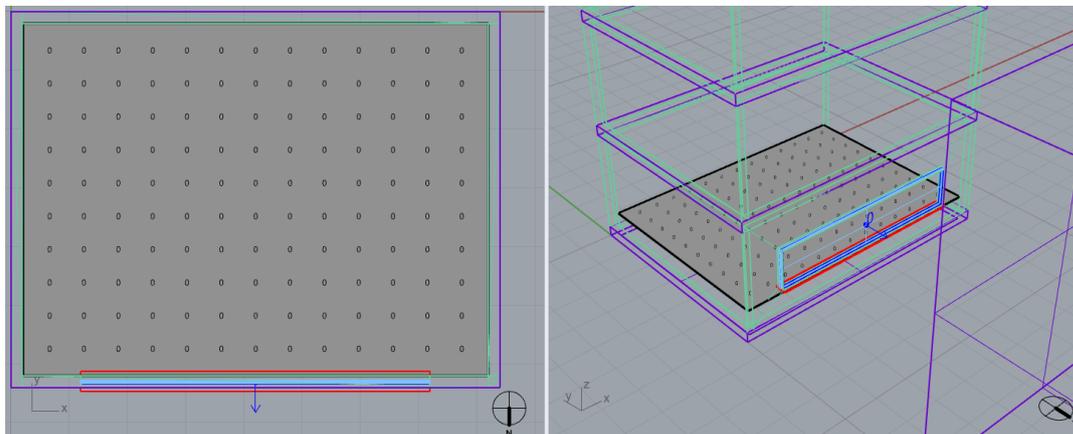
En este caso, donde la edificación se desplaza 3m más lejana, los valores del sDA, no sufren a penas modificaciones, sigue existiendo un buen aprovechamiento de la iluminación natural en todas las orientaciones a excepción de la sur. Sin embargo, lo que se había conseguido con la sombra arrojada con lo que respecta al ASE, se vuelve a perder, y todas las orientaciones a excepción de la norte, vuelven a superar el 10% por lo que será necesario la instalación de un sistema de control de protección.

## AULA VENTANA GRANDE ENTORNO A 6 m

### ORIENTACIÓN NORTE

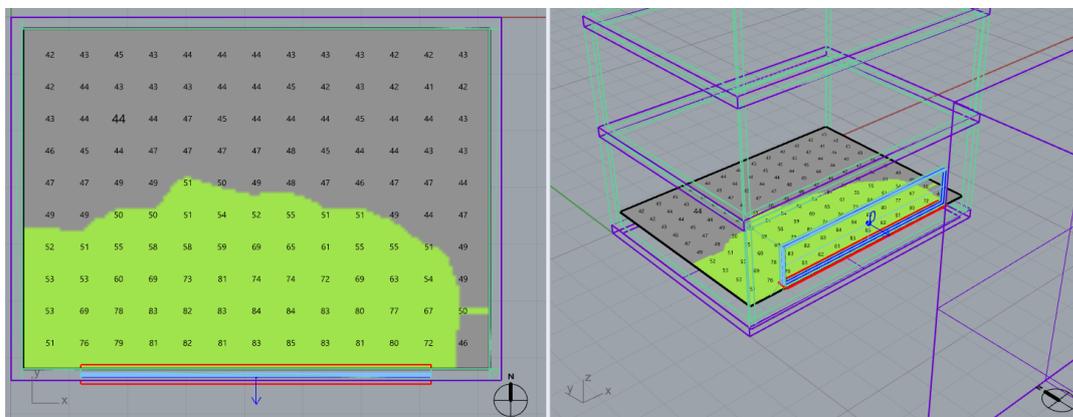


(83) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



(84) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

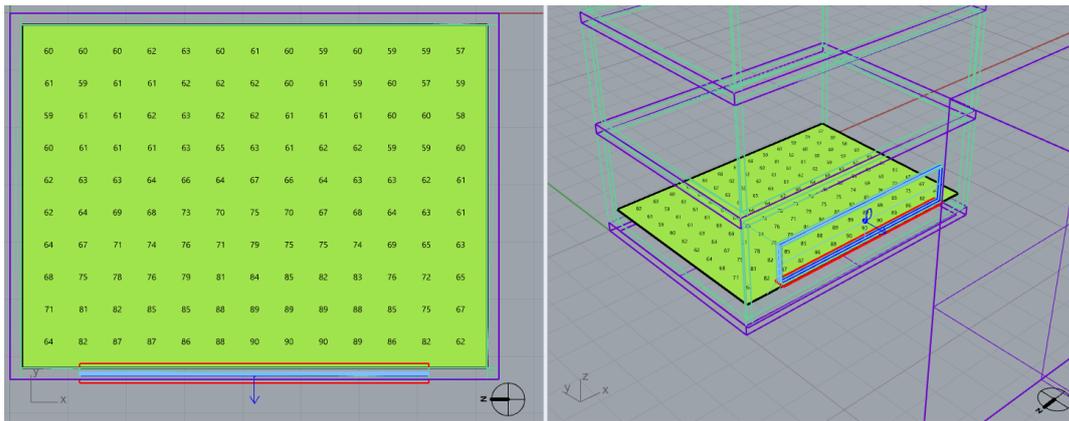
### ORIENTACIÓN SUR



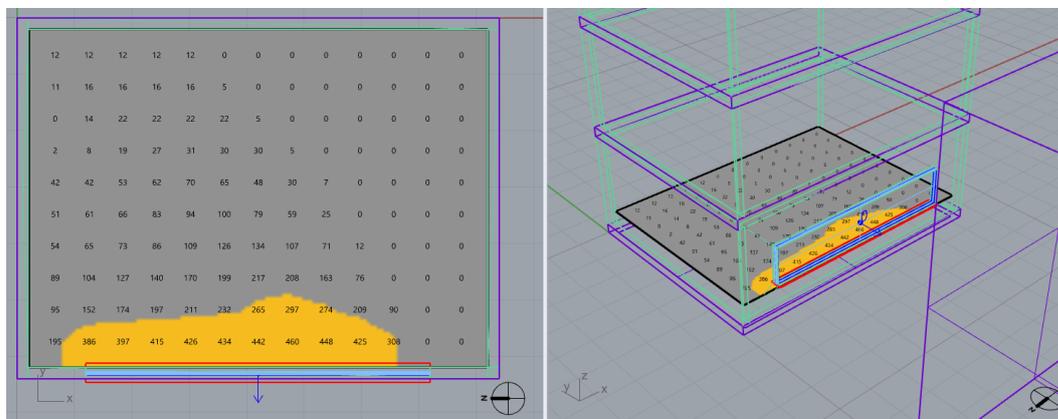
(85) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



## ORIENTACIÓN OESTE



(89) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



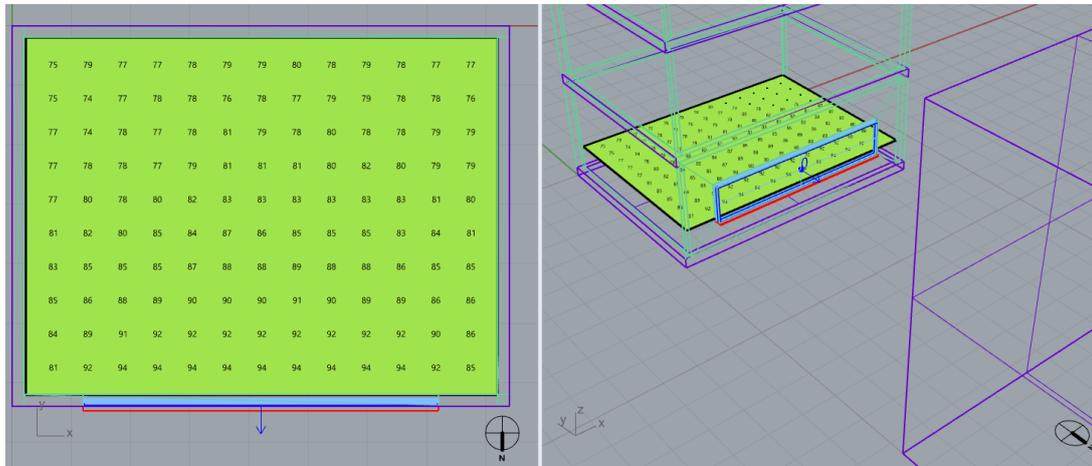
(90) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	100%	44,6%	100%	100%
ASE	0	21,5%	11,5%	10%

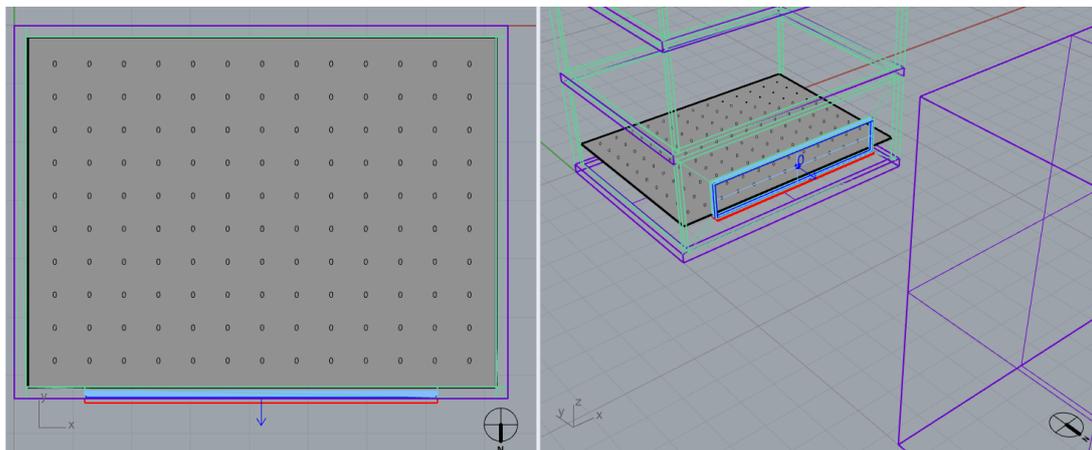
En esta ocasión, con el modelo de ventana más grande y una edificación próxima, vemos que el parámetro sDA no varía, manteniendo los valores altos de aprovechamiento de iluminación natural, menos la sur, que ha disminuido más del 50% del aprovechamiento. Con respecto al parámetro ASE, ha disminuido sobre todo, en la orientación este, pasando de 29,2% a 11,5%. Aun así, sigue siendo necesaria la instalación de un sistema de control para todas las orientaciones menos norte.

## AULA VENTANA GRANDE ENTORNO A 9 m

### ORIENTACIÓN NORTE

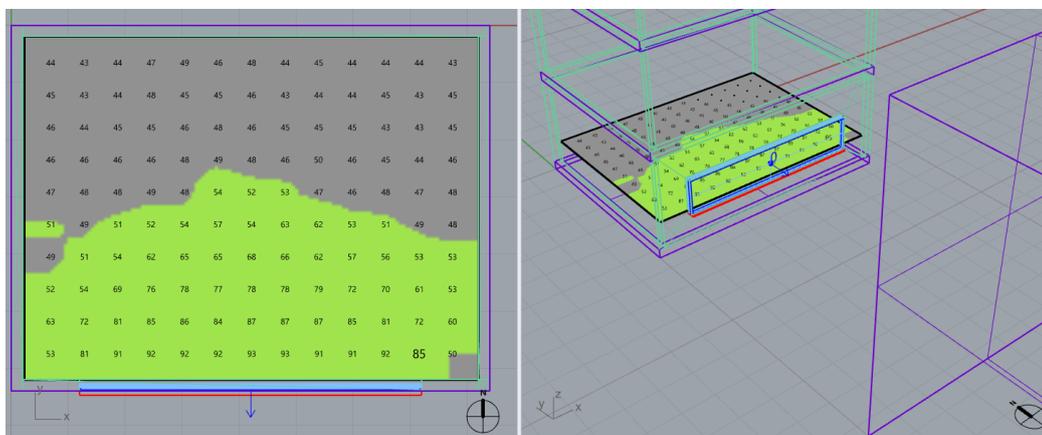


(91) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



(92) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

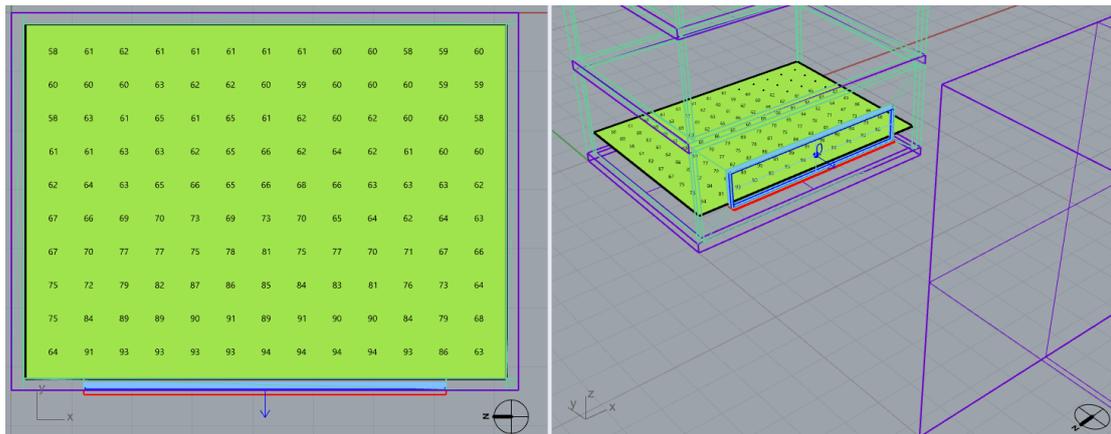
### ORIENTACIÓN SUR



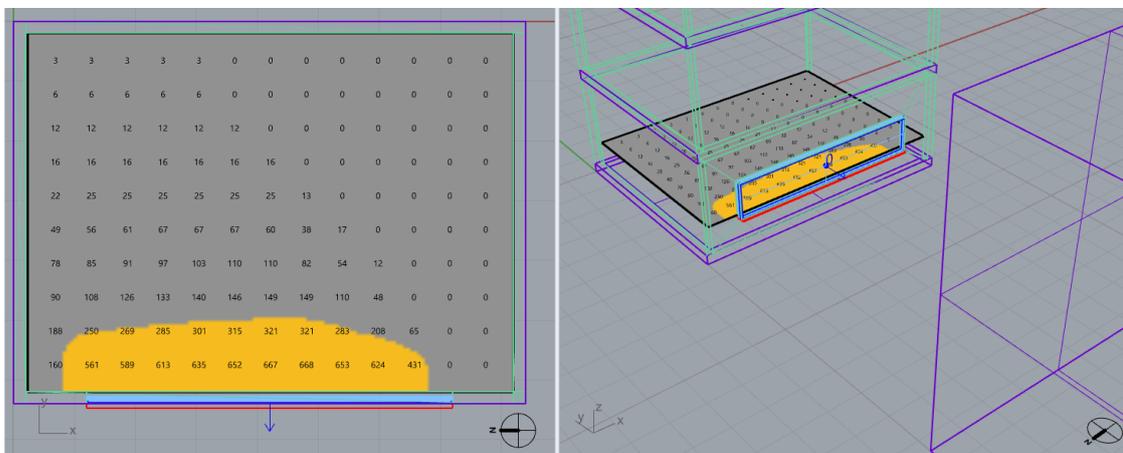
(93) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



## ORIENTACIÓN OESTE



(97) Fig.- Resultados Climate Studio sDA. Maquetación y fuente propia



(98) Fig.- Resultados Climate Studio ASE. Maquetación y fuente propia

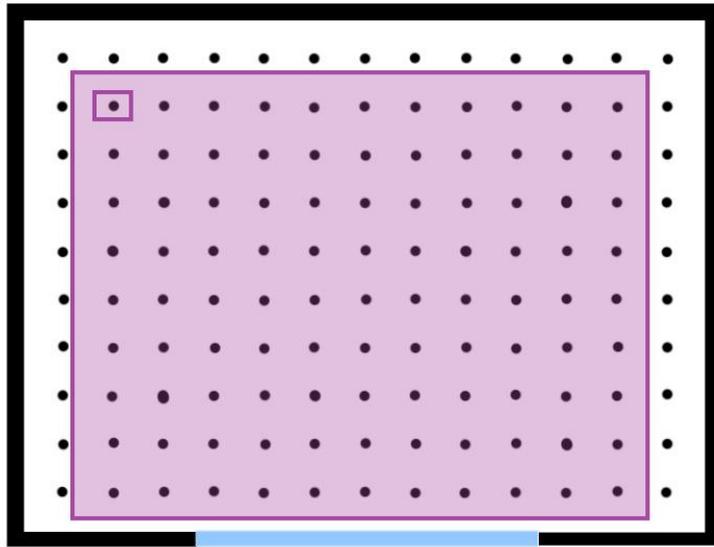
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
sDA	100 %	48,5%	100%	100%
ASE	0	20,8%	13,8%	13,8%

Al igual que en el mismo modelo anteriormente comentado, todos los valores del sDA se mantienen menos para la orientación sur, que ha descendido más del 50% frente a la de sin obstrucciones pero ha subido un 4% frente a la construcción a 6m. Los valores del ASE vuelven a ascender, siendo necesaria la instalación de un sistema de control en todas las orientaciones menos norte.

#### 4.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS PARÁMETROS CLIMATE STUDIO.

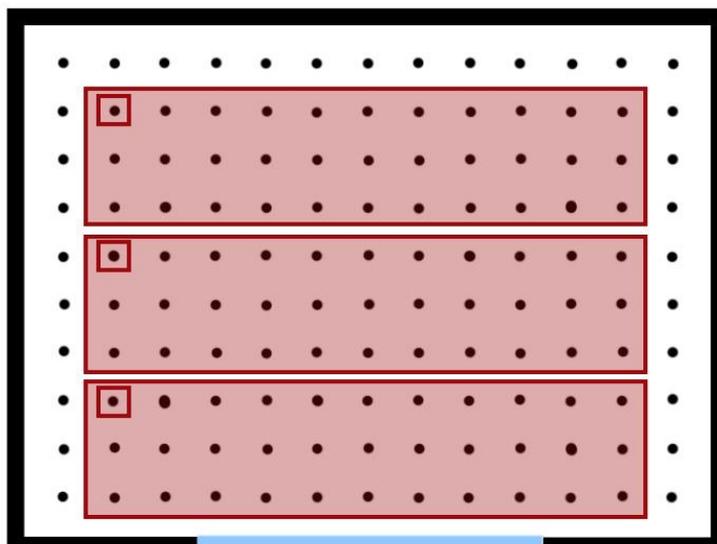
En segundo lugar se procederá a analizar y estudiar los sistemas de control en los modelos previamente obtenidos de Climate Studio. Se comprobarán los tres sistemas anteriormente comentados: Sistema todo/nada, sistema por líneas y sistema individual de luminaria. Se presentarán los tres tipos de la siguiente manera:

Modelo A. Sistema todo/nada: Se cogerá la superficie a excepción de los puntos más próximos a las paredes y se cogerá el punto más alejado del captador de la ventana ya que se considera el más desfavorable.



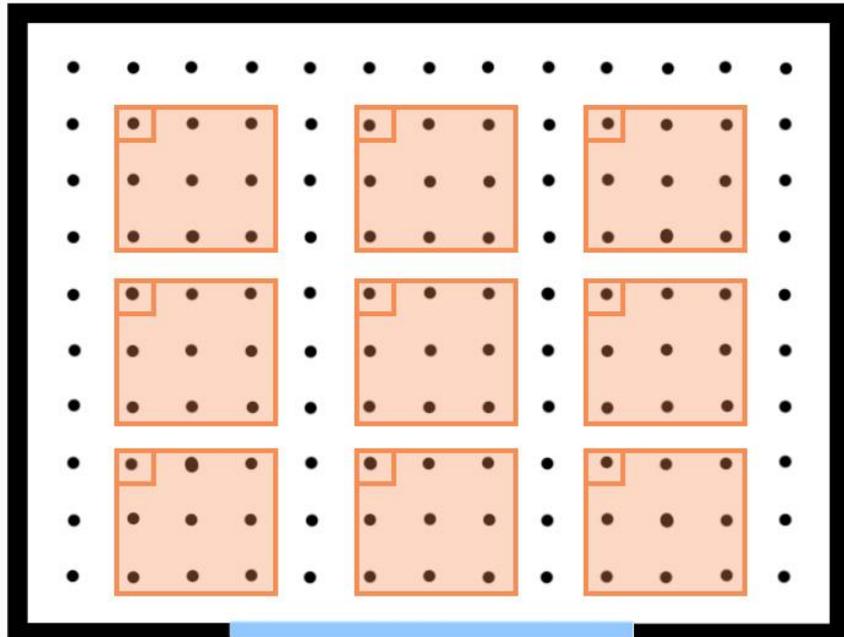
(99) Fig.- Esquema explicativo modelo de cálculo sistema de control todo nada. Maquetación y fuente propia

Modelo B. Sistema por línea: Se cogerán tres espacios de iguales dimensiones y al igual que en el anterior modelo se cogerán los 3 puntos más lejanos y se realizará una ponderación con los 3 resultados.



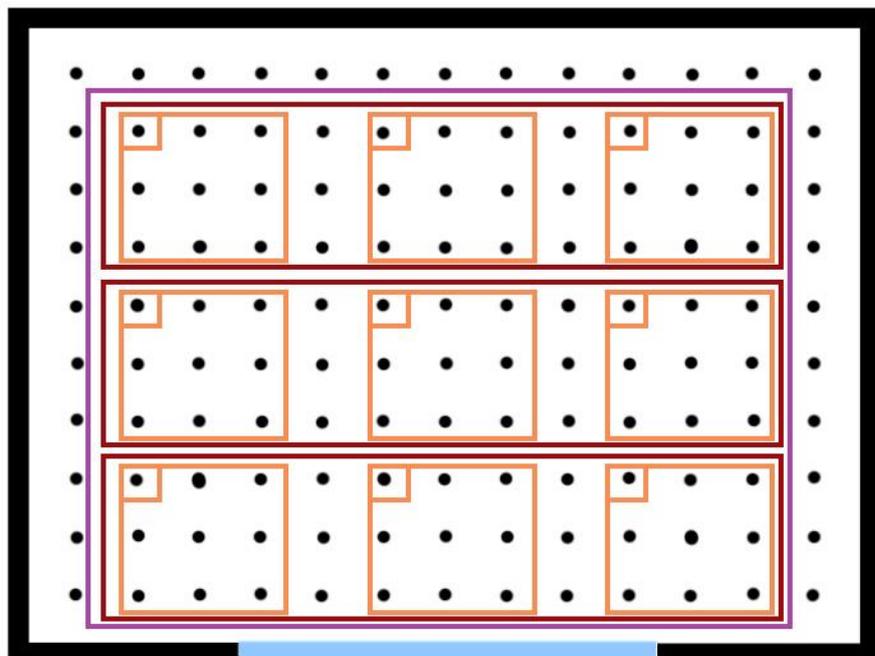
(100) Fig.- Esquema explicativo modelo de cálculo sistema por línea. Maquetación y fuente propia

Modelo C. Sistema individualizado por luminaria: Se cogerán en total 9 espacios de iguales dimensiones, estos espacios representan el espacio que debe cubrir cada luminaria. Al igual que en los casos anteriores se cogerá el punto más lejano y se hará una ponderación.



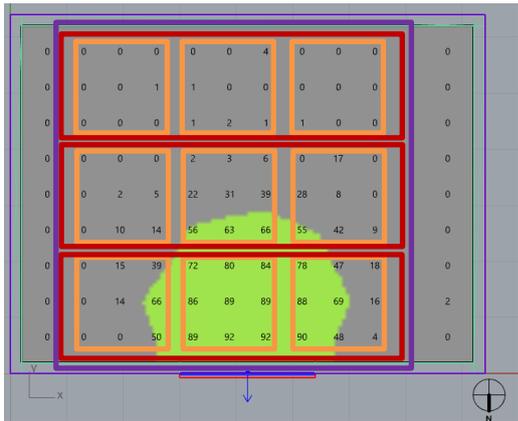
(101) Fig.- Esquema explicativo modelo de cálculo sistema de control individual. Maquetación y fuente propia

Finalmente se verían así los tres modelos con los puntos de control, de estas ponderaciones podremos analizar cuanto se puede mejorar la eficiencia de la instalación a través de estos sistemas de control.



(102) Fig.- Esquema explicativo superposición modelos de cálculo sistemas de control individual. Maquetación y fuente propia

## AULA VENTANA PEQUEÑA

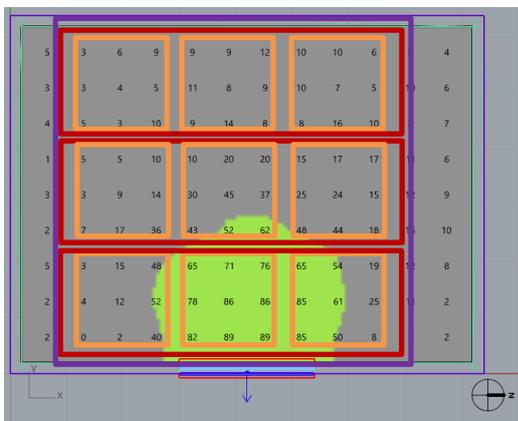


NORTE

MODELO A sDA = 0%

MODELO B sDA = 0+0+0/3= 0%

MODELO C sDA = 0+0+0+0+2+0+0+72+78 /9 = 16,8 %

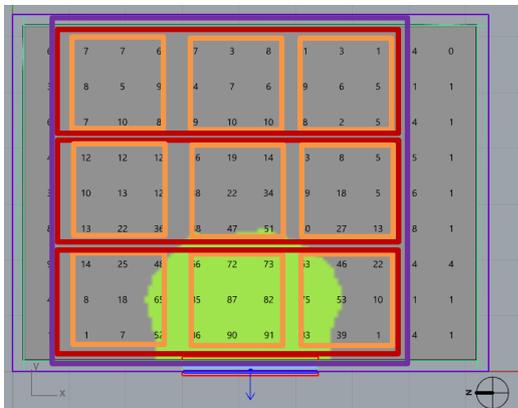


SUR

MODELO A sDA = 3%

MODELO B sDA = 3+5+3/3= 3,6%

MODELO C sDA = 3+9+10+5+10+15+3+65+65 /9 = 61,6 %

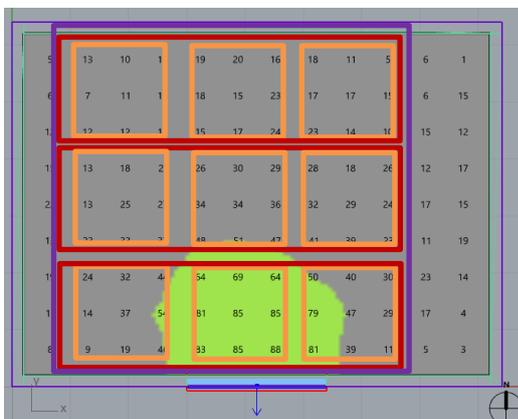


ESTE

MODELO A sDA = 7%

MODELO B sDA = 7+12+14/3= 11

MODELO C sDA = 7+7+1+12+16+13+14+66+63/9 = 22,1%



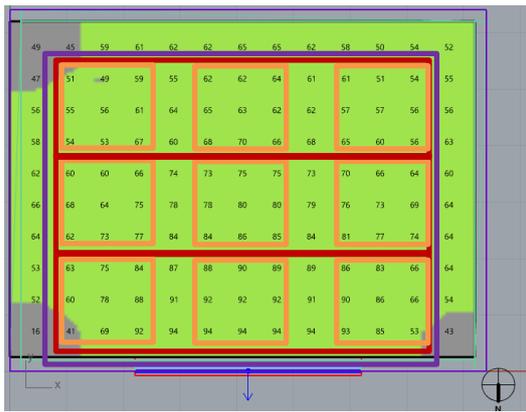
OESTE

MODELO A sDA = 13%

MODELO B sDA = 13+13+24/3= 16,7 %

MODELO C sDA = 13+19+18+13+26+28+24+64+50/9 = 21,2 %

## AULA VENTANA MEDIANA

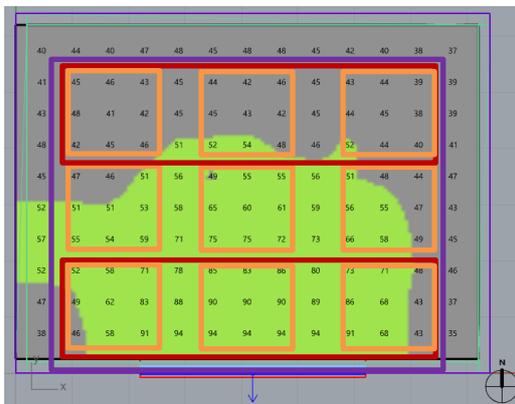


NORTE

MODELO A sDA = 51%

MODELO B sDA =  $51+60+63/3= 58\%$

MODELO C sDA =  $51+60+63+62+73+88+61+70+86 /9 = 68,2 \%$

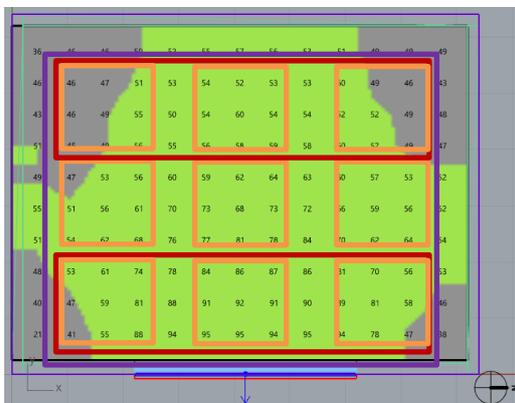


SUR

MODELO A sDA = 45%

MODELO B sDA =  $45+47+52/3= 48\%$

MODELO C sDA =  $45+47+52+44+49+85+43+51+73/9 = 54,3 \%$

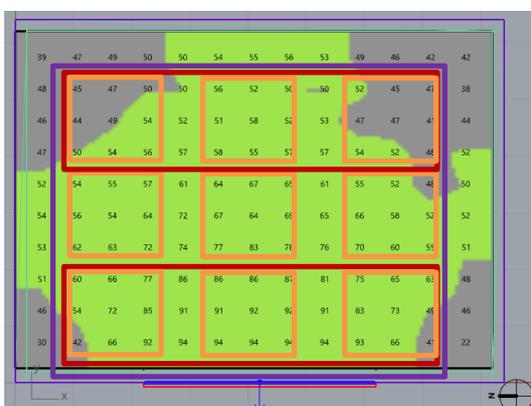


ESTE

MODELO A sDA = 46%

MODELO B sDA =  $46+47+53/3= 48,66\%$

MODELO C sDA =  $46+47+53+54+59+84+60+60+82 /9 = 60,5 \%$



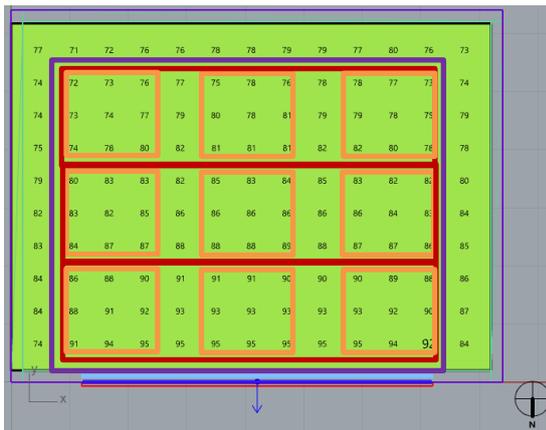
OESTE

MODELO A sDA = 45%

MODELO B sDA =  $45+54+60/3= 53\%$

MODELO C sDA =  $45+54+60+56+64+86+52+55+75/9 = 60,8 \%$

## AULA VENTANA GRANDE

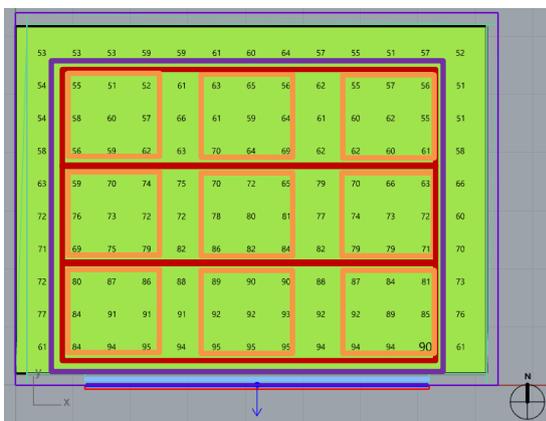


NORTE

MODELO A sDA = 72%

MODELO B  $sDA = 72+80+86/3 = 79,3\%$

MODELO C  $sDA = 72+80+86+75+85+91+78+83+90 / 9 = 82,2 \%$

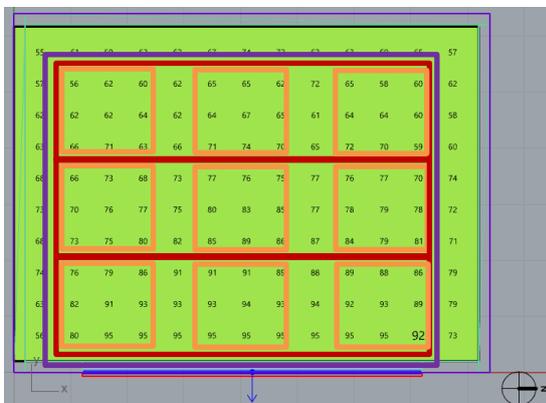


SUR

MODELO A sDA = 55%

MODELO B  $sDA = 55+59+80/3 = 64,7\%$

MODELO C  $sDA = 55+59+80+63+70+89+55+70+87/9 = 69,8 \%$

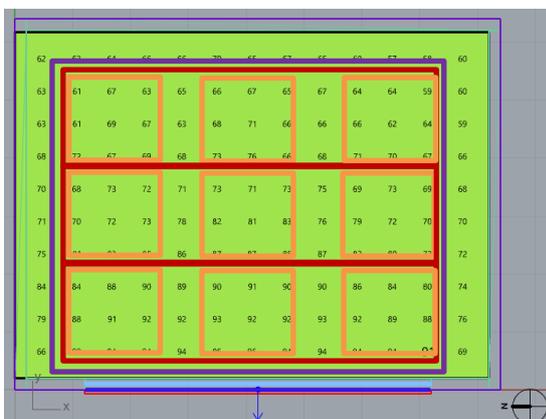


ESTE

MODELO A sDA = 56%

MODELO B  $sDA = 56+66+76/3 = 66\%$

MODELO C  $sDA = 56+66+76+65+77+91+65+76+89/9 = 73,4 \%$



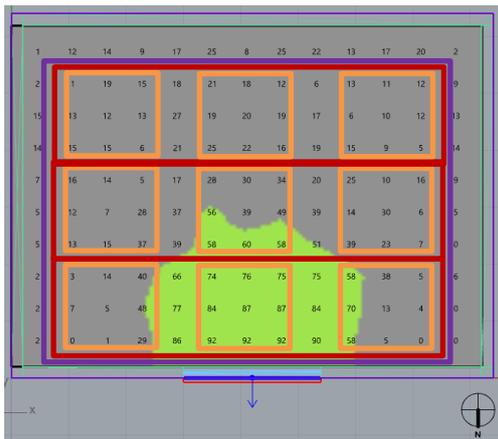
OESTE

MODELO A sDA = 61%

MODELO B  $sDA = 61+68+84/3 = 71\%$

MODELO C  $sDA = 61+68+84+66+73+90+64+69+86/9 = 73,4 \%$

## AULA VENTANA PEQUEÑA ENTORNO A 6m

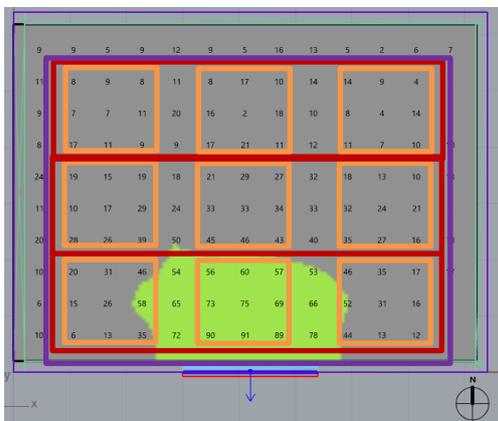


NORTE

MODELO A sDA = 1%

MODELO B  $sDA = 1+16+3/3 = 6,7\%$

MODELO C  $sDA = 1+16+3+21+28+74+13+25+58 / 9 = 26,6\%$

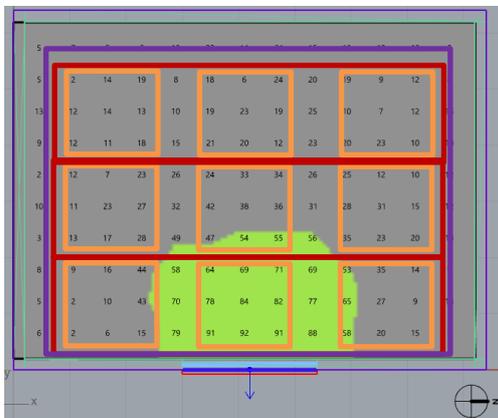


SUR

MODELO A sDA = 8%

MODELO B  $sDA = 8+19+20/3 = 15,6\%$

MODELO C  $sDA = 8+19+20+8+21+56+14+18+46/9 = 23,3\%$

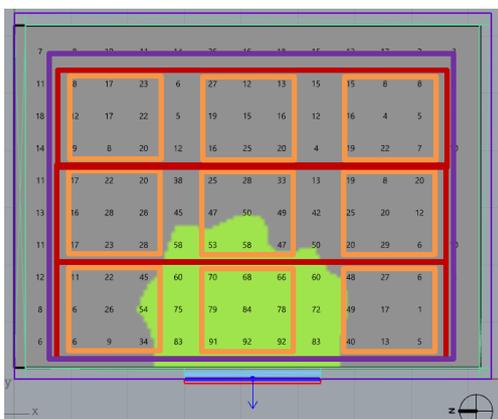


ESTE

MODELO A sDA = 2%

MODELO B  $sDA = 2+12+9/3 = 7,7\%$

MODELO C  $sDA = 2+12+9+18+24+64+19+25+53/9 = 25,5\%$



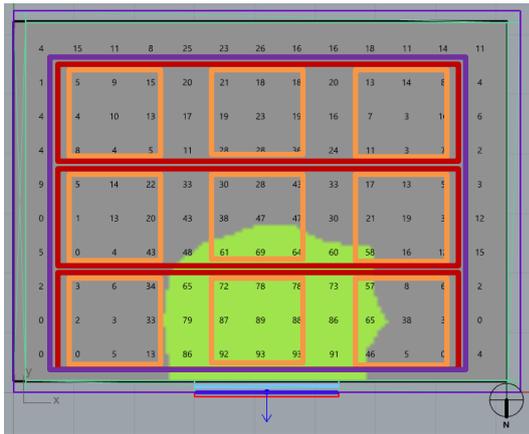
OESTE

MODELO A sDA = 8%

MODELO B  $sDA = 8+17+11/3 = 14\%$

MODELO C  $sDA = 8+17+11+27+25+70+15+19+48/9 = 26,7\%$

## AULA VENTANA PEQUEÑA ENTORNO A 9m

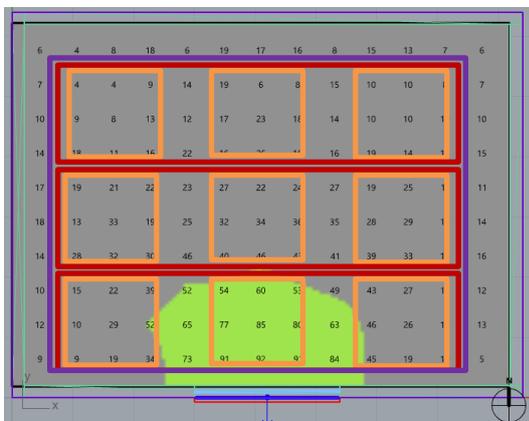


NORTE

MODELO A  $sDA = 5\%$

MODELO B  $sDA = 5+5+3/3 = 4,3\%$

MODELO C  $sDA = 5+5+3+21+30+72+13+17+57/9 = 24,8\%$

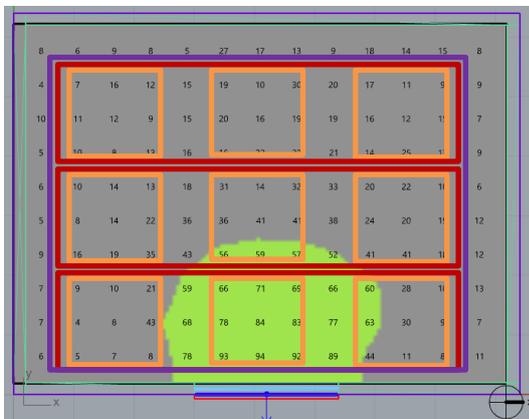


SUR

MODELO A  $sDA = 4\%$

MODELO B  $sDA = 4+19+15/3 = 12,7\%$

MODELO C  $sDA = 4+19+15+19+27+54+10+19+43/9 = 23,3\%$

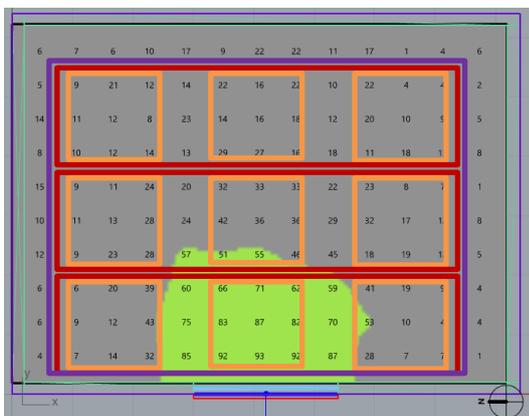


ESTE

MODELO A  $sDA = 7\%$

MODELO B  $sDA = 7+10+9/3 = 8,7\%$

MODELO C  $sDA = 7+9+10+19+31+66+17+20+60/9 = 26,6\%$



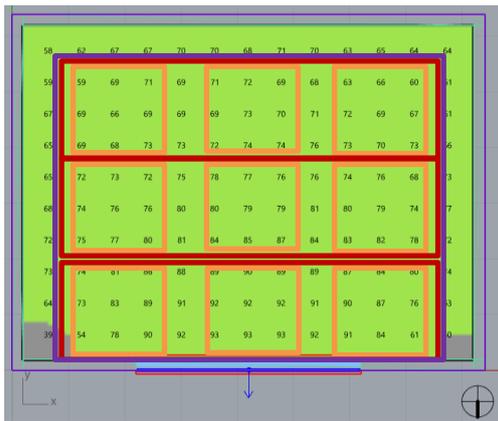
OESTE

MODELO A  $sDA = 9\%$

MODELO B  $sDA = 9+9+6/3 = 8,7\%$

MODELO C  $sDA = 9+9+6+22+32+66+22+23+41/9 = 25,6\%$

## AULA VENTANA MEDIANA ENTORNO A 6m

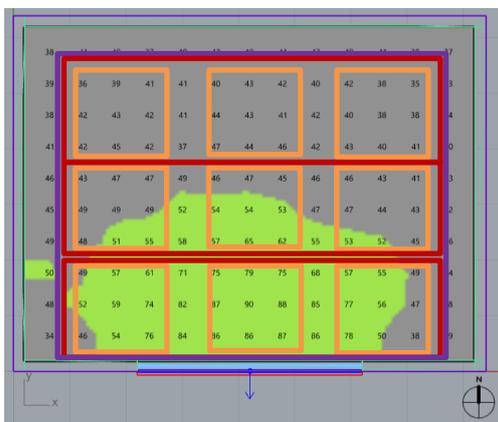


NORTE

MODELO A sDA = 59%

MODELO B  $sDA = 59+72+74/3 = 68,3\%$

MODELO C  $sDA = 59+72+74+71+78+89+63+74+87/9 = 74,1\%$

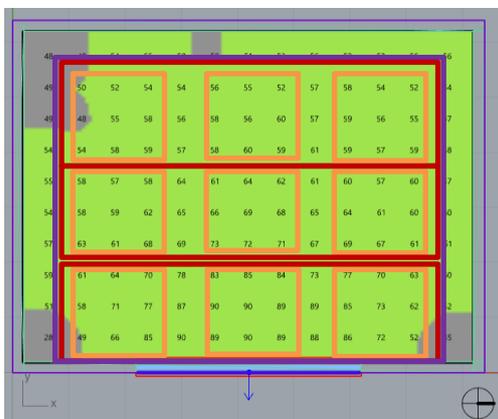


SUR

MODELO A sDA = 36%

MODELO B  $sDA = 36+43+49/3 = 42,7\%$

MODELO C  $sDA = 36+43+49+40+46+75+42+46+57/9 = 48,2\%$

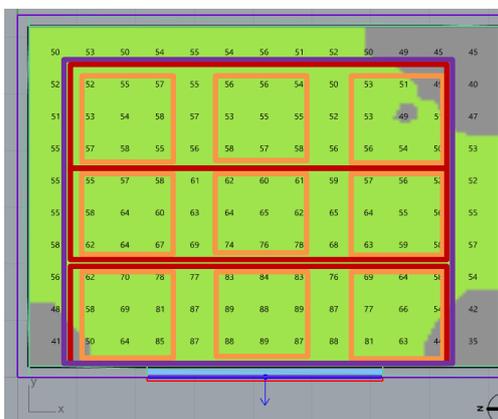


ESTE

MODELO A sDA = 50%

MODELO B  $sDA = 50+58+61/3 = 56,3\%$

MODELO C  $sDA = 50+58+61+56+61+83+58+60+77/9 = 62,7\%$



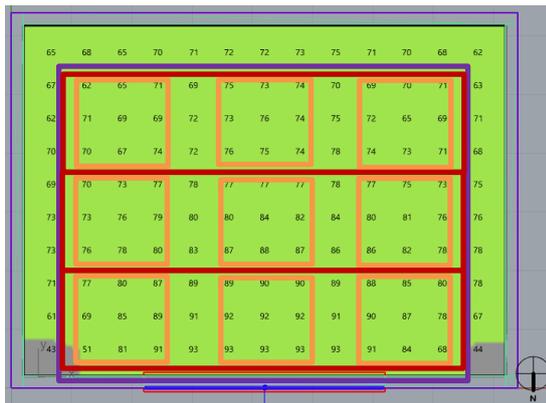
OESTE

MODELO A sDA = 52%

MODELO B  $sDA = 52+55+62/3 = 56,4\%$

MODELO C  $sDA = 52+55+62+56+62+83+53+57+69/9 = 61\%$

## AULA VENTANA MEDIANA ENTORNO A 9m

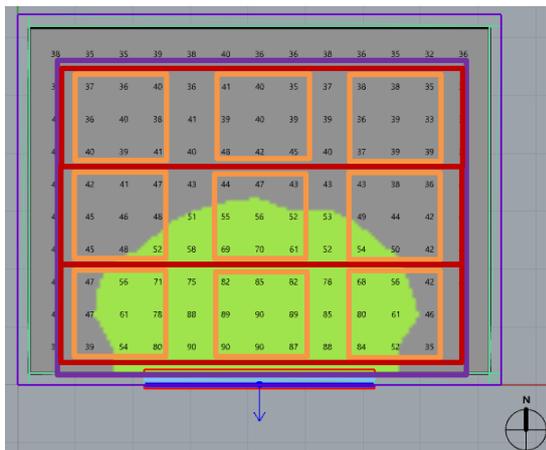


NORTE

MODELO A sDA = 62%

MODELO B  $sDA = 62+70+77/3 = 68,3\%$

MODELO C  $sDA = 62+70+77+75+77+89+69+77+88/9 = 75,6\%$

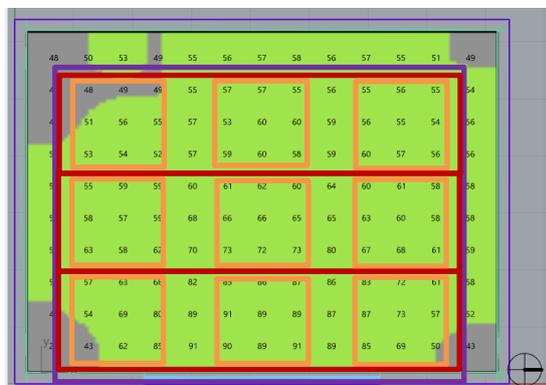


SUR

MODELO A sDA = 37%

MODELO B  $sDA = 37+42+47/3 = 42\%$

MODELO C  $sDA = 37+42+47+41+44+82+38+43+68/9 = 49,1\%$

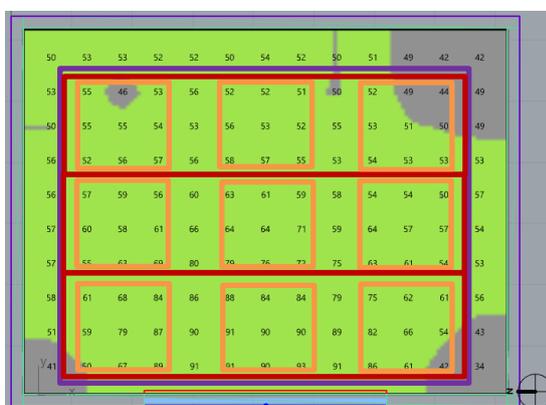


ESTE

MODELO A sDA = 48%

MODELO B  $sDA = 48+55+57/3 = 53,3\%$

MODELO C  $sDA = 48+55+57+57+61+85+55+60+83/9 = 62,3\%$



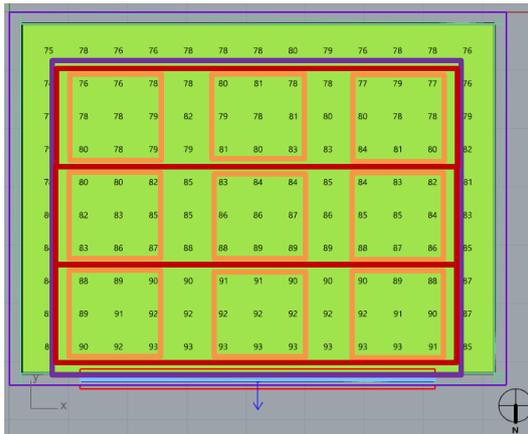
OESTE

MODELO A sDA = 55%

MODELO B  $sDA = 55+57+61/3 = 57,7\%$

MODELO C  $sDA = 55+57+61+52+63+88+52+54+75/9 = 61,9\%$

## AULA VENTANA GRANDE ENTORNO A 6m

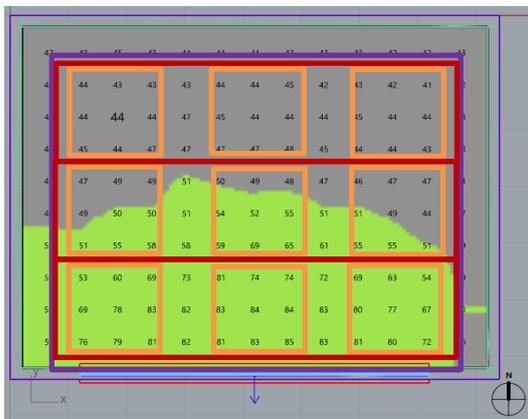


NORTE

MODELO A sDA = 76%

MODELO B sDA =  $76+80+88/3 = 81,3\%$

MODELO C sDA =  $76+80+88+80+83+91+77+84+90/9 = 83,2\%$

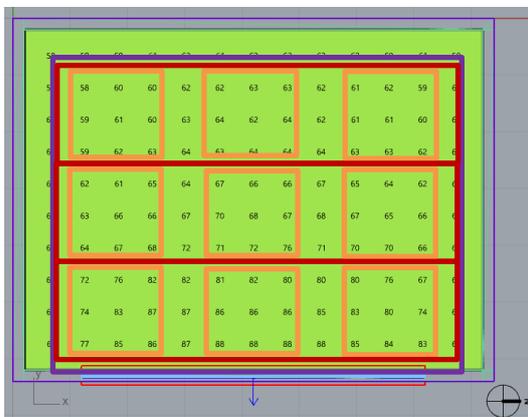


SUR

MODELO A sDA = 44%

MODELO B sDA =  $44+47+53/3 = 48\%$

MODELO C sDA =  $44+47+53+44+50+81+43+46+69/9 = 53 \%$

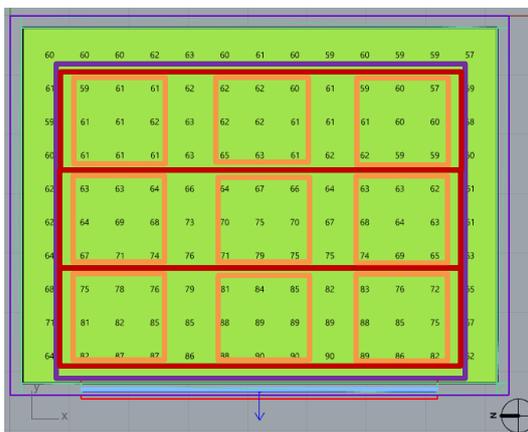


ESTE

MODELO A sDA = 58%

MODELO B sDA =  $58+62+72/3 = 64\%$

MODELO C sDA =  $58+62+72+62+67+81+61+65+80/9 = 67,6\%$



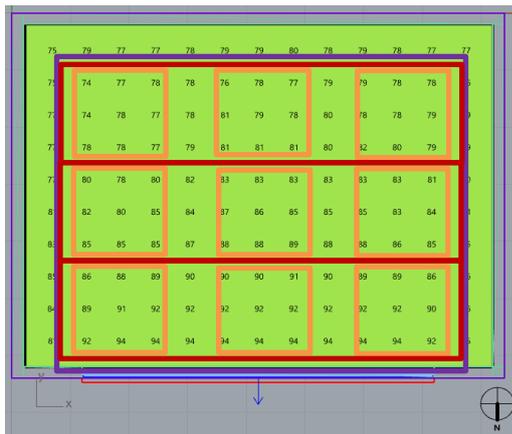
OESTE

MODELO A sDA = 59%

MODELO B sDA =  $59+63+75/3 = 65,6\%$

MODELO C sDA =  $59+63+75+62+54+81+59+63+83/9 = 66,6 \%$

## AULA VENTANA GRANDE ENTORNO A 9m

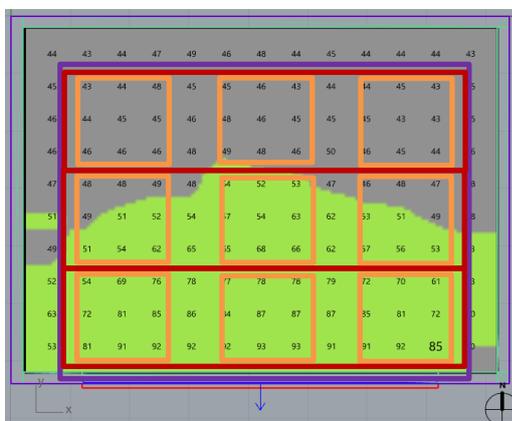


NORTE

MODELO A sDA = 74%

MODELO B  $sDA = 74+80+86/3 = 80\%$

MODELO C  $sDA = 74+80+86+76+83+90+79+83+89/9 = 82,2\%$

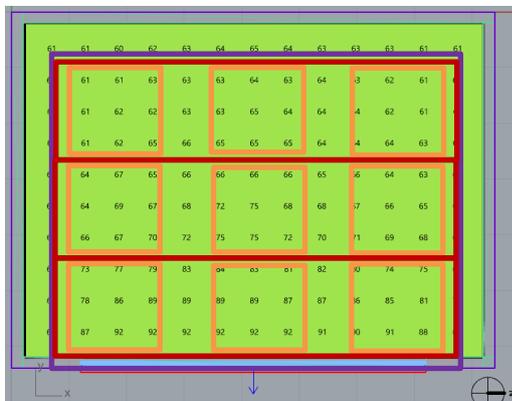


SUR

MODELO A sDA = 43%

MODELO B  $sDA = 43+48+54/3 = 48,3\%$

MODELO C  $sDA = 43+48+54+45+54+77+44+46+72/9 = 53,7\%$

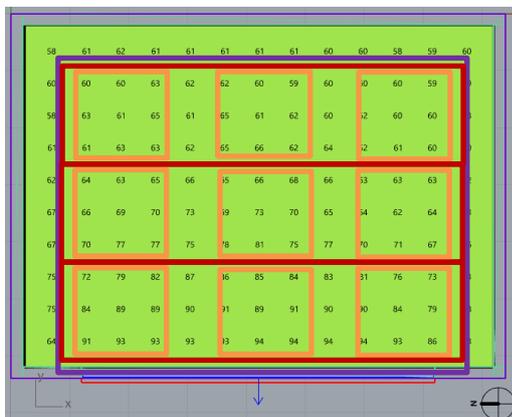


ESTE

MODELO A sDA = 61%

MODELO B  $sDA = 61+64+73/3 = 66\%$

MODELO C  $sDA = 61+64+73+63+66+84+63+66+80/9 = 68,9\%$



OESTE

MODELO A sDA = 60%

MODELO B  $sDA = 60+64+72/3 = 65,3\%$

MODELO C  $sDA = 60+64+72+62+65+86+60+63+81/9 = 68,1\%$

## 5. CONCLUSIONES

Para el mejor entendimiento de las conclusiones que procedo a realizar tras estos análisis, se acompañan varias tablas a modo “resumen” que visualmente facilitarán lo explicado además de incluir en el segundo caso, algunos cálculos que corroboran las conclusiones obtenidas.

En primer lugar hablaré de los resultados obtenidos a cerca del comportamiento de la luz natural y la exposición solar en los espacios:

C1.- Aula con ventana pequeña, mal comportamiento frente a los valores de iluminación natural sDA, no llegando a superarse en ninguna ocasión el 18%, lo que supone un aporte luz artificial muy alto. Buen comportamiento frente al parámetro ASE solo llegando a superarse en una ocasión por un 0,2%.

C2.- Aula con ventana intermedia, muy buen comportamiento frente a los valores de iluminación natural sDA superando el 70%. Comportamiento intermedio frente a los valores ASE, superándose en algunos casos el valor

máximo pero no de forma desorbitadas, ya que en ningún caso llega a sobrepasar más del 10% del máximo establecido. Recaltar también, que en su orientación sur, mal comportamiento frente a iluminación y mal comportamiento frente a la exposición solar.

C3.- Aula con ventana grande, comportamiento casi perfecto frente a los valores de iluminación sDA consiguiéndose en casi todas las hipótesis valores del 100%. Muy mal comportamiento frente a la exposición solar, superando el valor máximo permitido en todos los casos a excepción de la orientación norte. Además se superan con valores que llegan a ser un 20% más de lo permitido.

C4.- En todas las orientaciones, a excepción de la sur, tener una edificación próxima (color claro) mejora los resultados obtenidos de iluminación natural sDA debido a la luz rebotada. Asimismo, también mejora los resultados obtenidos respecto a la exposición solar disminuyéndolos, consiguiéndose en algunos casos no llegar a requerir de una instalación de sistemas de control de protección.

C5.- En la orientación norte la exposición solar es nula.

	sDA NORTE	ASE NORTE	sDA SUR	ASE SUR	sDA ESTE	ASE EST	sDA OESTE	ASE OESTE
AULA PEQUEÑA SIN OBSTRUCCIONES	16,70%	0	13%	10%	15,70%	10,20%	14,80%	5,60%
AULA MEDIANA SIN OBSTRUCCIONES	94,60%	0	46,90%	18,50%	75,40%	19,20%	73,80%	8,50%
AULA GRANDE SIN OBSTRUCCIONES	100%	0	100%	25,40%	100%	29,20%	100%	13,80%

	sDA NORTE	ASE NORTE	sDA SUR	ASE SUR	sDA ESTE	ASE ESTE	sDA OESTE	ASE OESTE
AULA PEQUEÑA CON OBSTRUCCIONES 6m	17,70%	0	13%	4%	16,20%	2,30%	16,20%	2,30%
AULA PEQUEÑA CON OBSTRUCCIONES 9m	16,90%	0	11,50%	5,40%	16,20%	3,10%	14,60%	3,10%

	sDA NORTE	ASE NORTE	sDA SUR	ASE SUR	sDA ESTE	ASE ESTE	sDA OESTE	ASE OESTE
AULA MEDIANA CON OBSTRUCCIONES 6m	98,50%	0	32%	10,80%	93,10%	6,90%	89,20%	4,60%
AULA PMEDIANA CON OBSTRUCCIONES 9m	98,50%	0	30,00%	16,90%	90,00%	10,80%	86,20%	10,00%

	sDA NORTE	ASE NORTE	sDA SUR	ASE SUR	sDA ESTE	ASE ESTE	sDA OESTE	ASE OESTE
AULA GRANDE CON OBSTRUCCIONES 6m	100,00%	0	44,6%	21,5%	100,00%	11,50%	100,00%	10,00%
AULA GRANDE CON OBSTRUCCIONES 9m	100,00%	0	48,50%	20,80%	100,00%	13,80%	100,00%	13,80%

A continuación se presentan un total de 9 tablas con los modelos analizados, en estas se han realizado cálculos acerca del consumo energético final de cada sistema teniendo en cuenta el horario establecido para el cálculo, el coste de este consumo y por último las emisiones de CO2 que se producen. De esta manera se podrán observar y comprar de forma más sencilla.

AULA PEQUEÑA SIN OBSTRUCCIONES	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	0,00%	0,00%	16,80%	2100	2100	1747,2	541,80 kWh	541,80 kWh	450,78 kWh	195,05 €	195,05 €	162,28 €	244 kg CO2	244 kg CO2	203 kg CO2
SUR	3,00%	3,60%	61,60%	2037	2024,4	806,4	525,55 kWh	522,30 kWh	208,05 kWh	189,20 €	188,03 €	74,90 €	236 kg CO2	235 kg CO2	94 kg CO2
ESTE	7,00%	11,00%	22,10%	1953	1869	1635,9	503,87 kWh	482,20 kWh	422,06 kWh	181,39 €	173,59 €	151,94 €	227 kg CO2	217 kg CO2	190 kg CO2
OESTE	13,00%	16,70%	22,10%	1827	1749,3	1635,9	471,37 kWh	451,32 kWh	422,06 kWh	169,69 €	162,47 €	151,94 €	212 kg CO2	203 kg CO2	190 kg CO2

AULA PEQUEÑA CON OBSTRUCCIONES 6m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	1,00%	6,70%	26,60%	2079	1959,3	1541,4	536,38 kWh	505,50 kWh	397,68 kWh	193,10 €	181,98 €	143,17 €	241 kg CO2	227 kg CO2	179 kg CO2
SUR	8,00%	15,60%	23,30%	1932	1772,4	1610,7	498,46 kWh	457,28 kWh	415,56 kWh	179,44 €	164,62 €	149,60 €	224 kg CO2	206 kg CO2	187 kg CO2
ESTE	2,00%	7,70%	25,50%	2058	1938,3	1564,5	530,96 kWh	500,08 kWh	403,64 kWh	191,15 €	180,03 €	145,31 €	239 kg CO2	225 kg CO2	182 kg CO2
OESTE	8,00%	14,00%	26,70%	1932	1806	1539,3	498,46 kWh	465,95 kWh	397,14 kWh	179,44 €	167,74 €	142,97 €	224 kg CO2	210 kg CO2	179 kg CO2

AULA PEQUEÑA CON OBSTRUCCIONES 9m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	5,00%	4,30%	24,80%	1995	2009,7	1579,2	514,71 kWh	518,50 kWh	407,43 kWh	185,30 €	186,66 €	146,68 €	232 kg CO2	233 kg CO2	183 kg CO2
SUR	4,00%	12,70%	23,30%	2016	1833,3	1610,7	520,13 kWh	472,99 kWh	415,56 kWh	187,25 €	170,28 €	149,60 €	234 kg CO2	213 kg CO2	187 kg CO2
ESTE	7,00%	8,70%	26,60%	1953	1917,3	1541,4	503,87 kWh	494,66 kWh	397,68 kWh	181,39 €	178,08 €	143,17 €	227 kg CO2	223 kg CO2	179 kg CO2
OESTE	9,00%	8,70%	25,60%	1911	1917,3	1562,4	493,04 kWh	494,66 kWh	403,10 kWh	177,49 €	178,08 €	145,12 €	222 kg CO2	223 kg CO2	181 kg CO2

AULA MEDIANA SIN OBSTRUCCIONES	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	51,00%	58,00%	68,20%	1029	882	667,8	265,48 kWh	227,56 kWh	172,29 kWh	95,57 €	81,92 €	62,03 €	119 kg CO2	102 kg CO2	78 kg CO2
SUR	45,00%	48,00%	54,30%	1155	1092	959,7	297,99 kWh	281,74 kWh	247,60 kWh	107,28 €	101,42 €	89,14 €	134 kg CO2	127 kg CO2	111 kg CO2
ESTE	46,00%	48,60%	60,50%	1134	1079,4	829,5	292,57 kWh	278,49 kWh	214,01 kWh	105,33 €	100,25 €	77,04 €	132 kg CO2	125 kg CO2	96 kg CO2
OESTE	45,00%	53,00%	60,80%	1155	987	823,2	297,99 kWh	254,65 kWh	212,39 kWh	107,28 €	91,67 €	76,46 €	134 kg CO2	115 kg CO2	96 kg CO2

AULA MEDIANA CON OBSTRUCCIONES 6m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	59,00%	68,30%	74,10%	861	665,7	543,9	222,14 kWh	171,75 kWh	140,33 kWh	79,97 €	61,83 €	50,52 €	100 kg CO2	77 kg CO2	63 kg CO2
SUR	36,00%	42,70%	48,20%	1344	1203,3	1087,8	346,75 kWh	310,45 kWh	280,65 kWh	124,83 €	111,76 €	101,03 €	156 kg CO2	140 kg CO2	126 kg CO2
ESTE	50,00%	56,30%	62,70%	1050	917,7	783,3	270,90 kWh	236,77 kWh	202,09 kWh	97,52 €	85,24 €	72,75 €	122 kg CO2	107 kg CO2	91 kg CO2
OESTE	52,00%	56,40%	61,00%	1008	915,6	819	260,06 kWh	236,22 kWh	211,30 kWh	93,62 €	85,04 €	76,07 €	117 kg CO2	106 kg CO2	95 kg CO2

AULA MEDIANA CON OBSTRUCCIONES 9m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	62,00%	68,30%	75,60%	798	665,7	512,4	205,88 kWh	171,75 kWh	132,20 kWh	74,12 €	61,83 €	47,59 €	93 kg CO2	77 kg CO2	59 kg CO2
SUR	37,00%	42,00%	49,10%	1323	1218	1068,9	341,33 kWh	314,24 kWh	275,78 kWh	122,88 €	113,13 €	99,28 €	154 kg CO2	141 kg CO2	124 kg CO2
ESTE	48,00%	53,30%	62,30%	1092	980,7	791,7	281,74 kWh	253,02 kWh	204,26 kWh	101,42 €	91,09 €	73,53 €	127 kg CO2	114 kg CO2	92 kg CO2
OESTE	55,00%	57,70%	61,90%	945	888,3	800,1	243,81 kWh	229,18 kWh	206,43 kWh	87,77 €	82,51 €	74,31 €	110 kg CO2	103 kg CO2	93 kg CO2

AULA GRANDE SIN OBSTRUCCIONES	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	72,00%	79,30%	82,20%	588	434,7	373,8	151,70 kWh	112,15 kWh	96,44 kWh	54,61 €	40,37 €	34,72 €	68 kg CO2	50 kg CO2	43 kg CO2
SUR	55,00%	64,70%	69,80%	945	741,3	634,2	243,81 kWh	191,26 kWh	163,62 kWh	87,77 €	68,85 €	58,90 €	110 kg CO2	86 kg CO2	74 kg CO2
ESTE	56,00%	66,00%	73,40%	924	714	558,6	238,39 kWh	184,21 kWh	144,12 kWh	85,82 €	66,32 €	51,88 €	107 kg CO2	83 kg CO2	65 kg CO2
OESTE	61,00%	71,00%	73,40%	819	609	558,6	211,30 kWh	157,12 kWh	144,12 kWh	76,07 €	56,56 €	51,88 €	95 kg CO2	71 kg CO2	65 kg CO2
AULA GRANDE CON OBSTRUCCIONES 6m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	76,00%	81,30%	83,20%	504	392,7	352,8	130,03 kWh	101,32 kWh	91,02 kWh	46,81 €	36,47 €	32,77 €	59 kg CO2	46 kg CO2	41 kg CO2
SUR	44,00%	48,00%	53,00%	1176	1092	987	303,41 kWh	281,74 kWh	254,65 kWh	109,23 €	101,42 €	91,67 €	137 kg CO2	127 kg CO2	115 kg CO2
ESTE	58,00%	64,00%	67,60%	882	756	680,4	227,56 kWh	195,05 kWh	175,54 kWh	81,92 €	70,22 €	63,20 €	102 kg CO2	88 kg CO2	79 kg CO2
OESTE	59,00%	65,60%	66,60%	861	722,4	701,4	222,14 kWh	186,38 kWh	180,96 kWh	79,97 €	67,10 €	65,15 €	100 kg CO2	84 kg CO2	81 kg CO2
AULA GRANDE CON OBSTRUCCIONES 9m	MODELO A	MODELO B	MODELO C	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO A	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO B	TIEMPO DE USO ILUMINACIÓN MODELO C	CONSUMO MODELO A	CONSUMO MODELO B	CONSUMO MODELO C	COSTE ENERGÍA MODELO A	COSTE ENERGÍA MODELO B	COSTE ENERGÍA MODELO C	EMISIÓN CO2 MODELO A	EMISIÓN CO2 MODELO B	EMISIÓN CO2 MODELO C
NORTE	74,00%	80,00%	82,20%	546	420	373,8	140,87 kWh	108,36 kWh	96,44 kWh	50,71 €	39,01 €	34,72 €	63 kg CO2	49 kg CO2	43 kg CO2
SUR	43,00%	48,30%	53,70%	1197	1085,7	972,3	308,83 kWh	280,11 kWh	250,85 kWh	111,18 €	100,84 €	90,31 €	139 kg CO2	126 kg CO2	113 kg CO2
ESTE	61,00%	66,00%	68,90%	819	714	653,1	211,30 kWh	184,21 kWh	168,50 kWh	76,07 €	66,32 €	60,66 €	95 kg CO2	83 kg CO2	76 kg CO2
OESTE	60,00%	65,30%	68,10%	840	728,7	669,9	216,72 kWh	188,00 kWh	172,83 kWh	78,02 €	67,68 €	62,22 €	98 kg CO2	85 kg CO2	78 kg CO2

C1.- El sistema de control más eficiente, que mejor se adapta a los requerimientos de los espacios ya que presenta mayores valores de sDA en todos los casos es el sistema de control individualizado por luminaria.

C2.- Los espacios que parten de peores condiciones, como en el caso de los modelos con ventana pequeña, tanto con y sin obstrucciones, son lo que presentan un mejor % de mejora ante los sistemas de control. Reduciendo bastante las horas de aporte de luz artificial.

C3.- El ahorro económico y la reducción de emisiones de CO2 se consigue tanto a través del modelo B y C, pero presenta siempre mejores resultados el modelo c.

C4. Las mejoras económicas y las reducciones de emisiones de CO2 a nivel individual de cada modelo no son muy elevadas, pero teniendo en cuenta que estos sistemas se implantarían en varias aulas, como puede ser en un espacio universitario, el impacto económico y medioambiental serán muy elevados.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- National Library of Medicine. (2014, noviembre). *Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms*. <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.982757>
  
- Gobierno de España. (2021). *Datos y cifras del sistema Universitario Español*.  
[https://www.universidades.gob.es/stfls/universidades/Estadisticas/ficheros/Datos\\_y\\_Cifras\\_2020-21.pdf](https://www.universidades.gob.es/stfls/universidades/Estadisticas/ficheros/Datos_y_Cifras_2020-21.pdf)
  
- University of Nebraska-Lincoln. (2014, August). *Impacts of Daylight on Preschool Students' Social and Cognitive Skills*.  
[https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=arch\\_id\\_theses](https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=arch_id_theses)
  
- Philips Lighting. Holanda. (2009, abril). *La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos*. PHILIPS.
  
- FOLDBKERG, P. & VELUX Group's Knowledge Center. (2013). *Daylight boosts academic performance*.  
<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/research-projects/daylight-and-academic-performance?consent=none&ref-original>
  
- UNE. *Normativa UNE-12464.1*. [https://www.academia.edu/37169839/UNE\\_12464\\_1](https://www.academia.edu/37169839/UNE_12464_1)
  
- Gobierno de España (2018). *PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
  
- GOBIERNO DE ESPAÑA. (1997, Enero). *Real Decreto 39/1997*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/01/17/39/con>
  
- Ministerio de ciencia y tecnología España. *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes*.
  
- Acosta I. Campano MA, Dominguez-Amarillo S, Muñoz C. 2018. *Dinamic daylight metrics for electricity savings in offices: window size and climate Smart lighting management*. Energies.
  
- Acosta I. 2018. *Introduction to Dynalight Project: Efficient desing for biodynamic light to promote de circadian rhythm*. ICCUE

- Acosta I. Campano MA, Dominguez S, Fernández-Agüera J. 2019<sup>a</sup>. Minimum Daylight Autonomy: A New Concept to Link Daylight Dynamic Metrics with Daylight Factors.

- Álvarez B.2013. Consecuencias de la discronía circadiana en la salud del trabajador. CES Salud Pública 4:111-115

- Herramienta de modelado 3D Rhinoceros: [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com)

- Herramienta de modelado 3D Revit: [www.autodesk.es](http://www.autodesk.es)

- Herramienta de cálculo iluminación natural ClimateStudio [www.solemma.com/climatestudio](http://www.solemma.com/climatestudio)

- Archivos climáticos para el cálculo mediante ClimateStudio