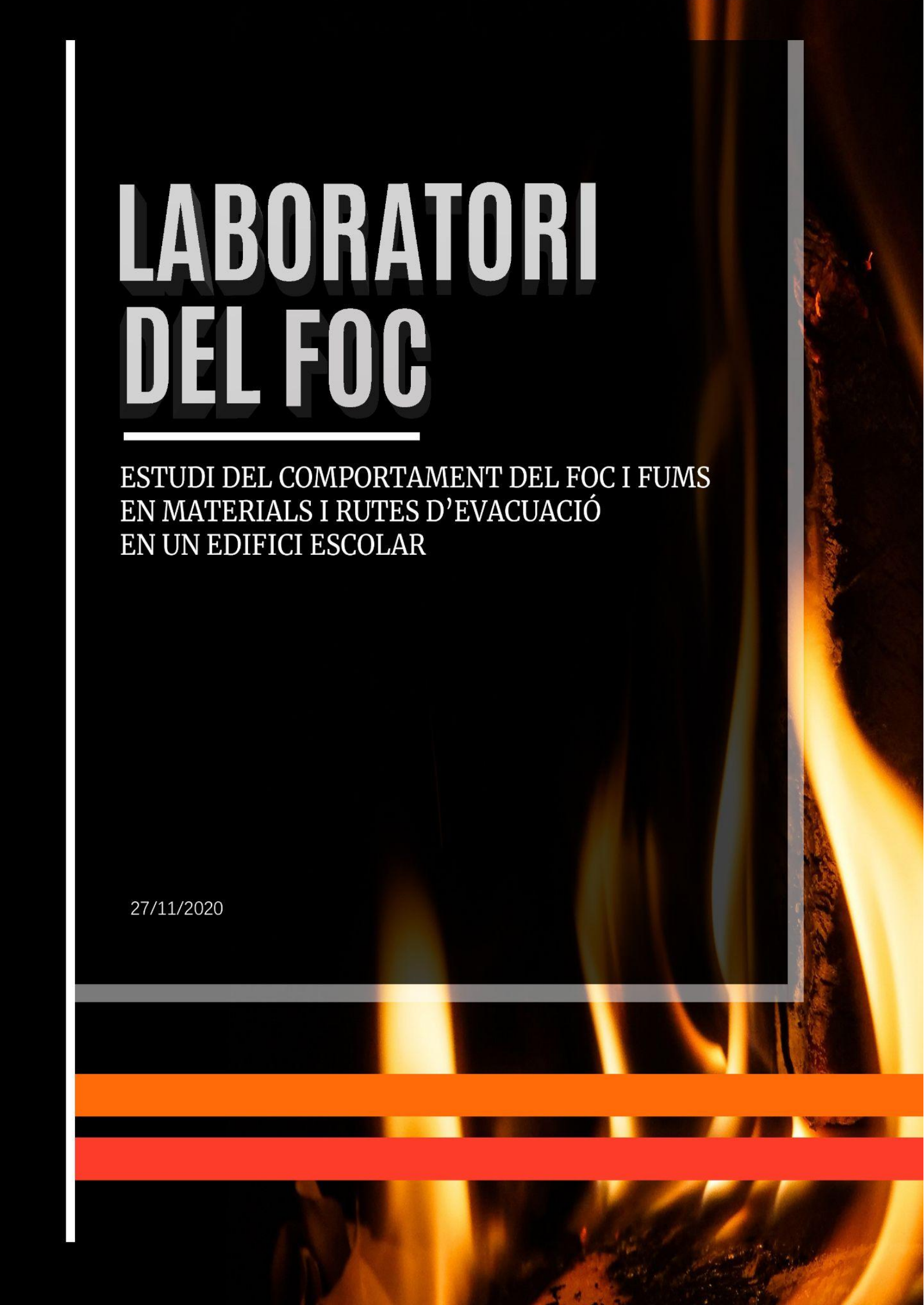


# LABORATORI DEL FOC

---

ESTUDI DEL COMPORTAMENT DEL FOC I FUMS  
EN MATERIALS I RUTES D'EVACUACIÓ  
EN UN EDIFICI ESCOLAR

27/11/2020



# Índex

<b>1. Abstract</b>	<b>3</b>
<b>2. Paraules clau</b>	<b>4</b>
<b>3. Introducció</b>	<b>4</b>
<b>4. Objectius</b>	<b>5</b>
4.1. Conceptuals	5
4.2. Procedimentals	6
4.3. Actitudinals	7
<b>5. Metodologia</b>	<b>8</b>
<b>6. Cos del treball</b>	<b>14</b>
6.1. Organització preventiva a l'escola	14
6.1.1. Equips d'emergència	15
6.1.2. Procediment d'avís d'emergència	17
6.2. Característiques de l'edifici i ocupants	17
6.3. Ocupació de les aules	24
6.4. Plànols de l'edifici	25
6.5. Experimentació al laboratori del foc	31
6.5.1. Laboratori del Foc de l'EPSEB (Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona)	31
6.5.2. Materials assetjats dintre del laboratori	32
6.5.3. Equipació necessària per fer l'assaig	34
6.6. Simulacions	38
6.6.1. Simulacions de la propagació del foc i del fum	38
6.6.2. Simulacions d'evacuació	65
<b>7. Resultats</b>	<b>74</b>
7.1. Assajos amb diferents materials al laboratori del foc	74
7.2. Plànols i Ordre d'Evacuació	85
7.3. Millores	91
<b>8. Conclusions</b>	<b>92</b>
<b>9. Bibliografia</b>	<b>92</b>
<b>10. Agraïments</b>	<b>95</b>

## 1. Abstract

Aquest treball es va dur a terme per a determinar la millor forma d'evacuar un centre educatiu i per a veure com afecta el foc a certs materials que podem trobar dins de l'edifici. Durant aquest treball vam fer ús dels programes "Pyrosim" per a saber com seria el comportament del foc i el fum dins de l'edifici. D'altra banda també vam utilitzar el programa "Pathfinder" per a trobar la via d'evacuació òptima i així evacuar l'edifici de la forma més ràpida i segura possible. Vam ser capaços de crear un nou pla d'evacuació i establir quins eren els materials més perillosos dins de l'edifici. Aquest treball també aporta informació sobre el protocol d'actuació i dels tipus d'extintors que poden ser usats dins de certes aules de l'edifici. Aquest projecte suposa una millora en el pla d'emergència del centre educatiu.

This study was carried out to determine the best way to evacuate an educational center in the most effective way and to find out how fire affects certain materials found inside the building . The study made use of the simulator "Pyrosim" to know the behaviour of fire and smoke in a fire, and the simulator "Pathfinder" to find the optimal path to evacuate the building as fast and secure as possible. We were able to create a new evacuation plan and establish the most dangerous materials in the building. This study also provided information concerning the action protocol and the types of fire extinguishers that could be used in certain rooms of the building. This project represents an improvement in the emergency plan of the educational center.

Este trabajo se llevó a cabo para determinar la mejor manera de evacuar un centro educativo y para ver cómo afecta el fuego en ciertos materiales que podemos encontrar dentro del edificio. Durante este trabajo hicimos uso de los programas "Pyrosim" para saber cómo sería el comportamiento del fuego y sus humos dentro del edificio. Por otro lado también utilizamos el programa "Pathfinder" para detectar la vía más óptima de evacuación y de esta manera evacuar el edificio de la forma más rápida y segura posible. Fuimos capaces de crear un nuevo plan de evacuación y establecer cuáles eran los materiales más peligrosos dentro del edificio. Este estudio también aporta información sobre el protocolo de actuación y los tipos de extintores que pueden ser

utilizados dentro ciertas aulas del edificio. Este proyecto supone una mejora en el plan de emergencia del centro educativo.

## **2. Paraules clau**

Foc, incendi, propagació del foc i del fum, Pathfinder, Pyrosim, protocol d'evacuació, edifici escolar, perillositat dels materials, extintors, pla d'evacuació, prevenció de riscos, pla d'emergència.

## **3. Introducció**

Aquest treball de recerca és un projecte que pertany a la modalitat tecnològica. Després de tenir en compte algunes idees que varen sorgir, l'escola ens va posar en contacte amb l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB) per tal de dur a terme un treball de recerca que consisteix a trobar la manera més segura per evacuar un edifici tenint en compte tots els materials i els perfils de les persones que es troben dins d'aquest, i estudiar la propagació de focs i fums en diferents espais.

El treball està enfocat en trobar la manera més òptima, i per tant, la més adequada per evacuar un edifici, estudiar les millors vies d'evacuació i ordre d'evacuació més adequada, en el nostre cas, hem decidit basar tot el nostre treball en l'edifici A de l'escola, tenint en compte les edats de les persones que hi ha en ell, el seu comportament... ajudant-nos d'un programa de simulació anomenat "Pathfinder". És per això que hem dissenyat en 3D l'edifici A de l'escola per simular un incendi i l'evacuació d'aquest i per l'altra una aula d'aquest edifici per estudiar la propagació del foc i del fum dins d'aquesta.

Per a estudiar el comportament del foc hem utilitzat el Laboratori del Foc (UPC). Aquest ens permet obtenir informació de la reacció del foc amb certs materials i productes en diferents condicions. Els materials que hem utilitzat són els que es troben a les aules com per exemple cadires, taules i prestatgeries. Amb el programa "PyroSim" hem pogut simular la propagació del foc i dels seus fums a l'edifici de l'escola.



Per a dur a terme aquest treball també ens hem hagut d'informar de la planificació preventiva de l'escola. La seguretat laboral garanteix la prevenció de riscos i el benestar de les persones a l'àrea de treball. Això es fa mitjançant protocols preestablerts d'actuació en cas d'emergència. Aquests protocols s'anomenen plans d'emergència. Amb aquest projecte hem volgut millorar el pla d'autoprotecció de l'escola. També amb l'entrevista que vam dur a terme amb els Bombers de Mollet del Vallès vam poder ampliar els nostres coneixements respecte a tota la temàtica del foc.

## **4. Objectius**

En aquest treball ens hem posat diferents propòsits per aconseguir. Els objectius es divideixen en tres grups; conceptuals, procedimentals i actitudinals. Aquests objectius han estat proposats de manera que siguin assolibles, realistes en tots els aspectes i proporcionals al temps que disposem per dur a terme el projecte.

### **4.1. Conceptuals**

1. Conèixer el funcionament del programa "PyroSim".
2. Conèixer el funcionament del programa "Pathfinder".
3. Augmentar els coneixements del programa disseny 3D, "Sketchup".
4. Coneixement sobre la prevenció de riscos laborals.

Vam començar el treball sabent que hauríem d'adquirir coneixements sobre temes que desconeixíem. Per poder dur a terme el treball vam preveure quins nous conceptes hauríem d'adquirir i ens vam proposar aprendre a utilitzar els programes "PyroSim" i "Pathfinder".

El programa "PyroSim" ens permet simular incendis i la seva evolució a partir del disseny d'una estança o d'un edifici sencer. Com que el programa té un funcionament complex, vam preveure que hauríem d'invertir més temps a familiaritzar-nos amb les seves característiques com per exemple les condicions ambientals de l'estança. Aquest programa depèn de moltes variables i per això cal comprendre el seu funcionament per poder obtenir el màxim d'informació possible i que aquesta sigui semblant a les

condicions reals. Per a aquest programa serà molt important obtenir informació sobre els materials que es troben a les aules com per exemple la fusta de les cadires o de les prestatgeries.

Per altra banda, el programa "Pathfinder" simula l'evacuació d'un edifici dissenyat en 3D. Per poder utilitzar el programa haurem d'obtenir informació sobre els alumnes que es troben en aquest edifici. La informació necessària són principalment les dades següents: la mida aproximada de les persones segons l'edat, la velocitat a la qual caminen i el lloc en el qual es troben en el moment de començar a evacuar.

Haurem de dissenyar els plànols l'edifici per utilitzar-lo en els dos programes. Per tant haurem d'adquirir nous coneixements sobre el programa "Sketchup", que afegirem als que ja teníem sobre disseny en 3D. A més, per poder dissenyar-lo amb la màxima exactitud possible ens farà falta més informació a part de la mateixa estructura de l'edifici. Necessitarem saber les mesures d'aquest, on es troben els ascensors, les escales, les sortides d'emergència i les finestres.

## **4.2. Procedimentals**

Pel que fa als objectius procedimentals, són diversos els que ens hem plantejat donada la complexitat del projecte.

El primer objectiu és conèixer els procediments i registres sobre l'organització i la planificació preventiva escolar.

El segon objectiu consisteix a buscar tota classe de manuals dels programes "PyroSim" i "Pathfinder" per tal d'assolir l'objectiu conceptual respectiu. A més, a aquest objectiu afegim el de dur a terme diferents proves a petita escala per tal de familiaritzar-nos encara més amb aquests simuladors que utilitzarem i que són fonamentals per al nostre treball.

El tercer objectiu és el d'aconseguir, mitjançant el programa "Sketchup" dissenyar els plànols de l'edifici A. de l'escola en 2D i 3D, del soterrani, planta baixa, planta primera i planta segona, sempre conservant l'escala. Vam escollir aquest edifici de l'escola perquè és el que té més diversitat d'alumnes pel que fa a la seva edat i comportament. Aquest disseny de l'edifici sencer és el que importarem posteriorment al programa "Pathfinder" per tal de realitzar la simulació d'evacuació de l'edifici i trobar la millor ruta d'evacuació. A més a més, també haurem de dur a terme el disseny en 3D d'una de les aules de l'edifici que serà el que més endavant utilitzarem per a la simulació de la propagació del foc i els fums.

Com a quart objectiu, i amb una especial il·lusió és el de fer les pràctiques al laboratori del foc que ens cedeix l'EPSEB a les seves instal·lacions, que amb la sofisticada maquinària podrem portar la teoria a la pràctica amb assaigs on podrem veure i participar directament en el desenvolupament de la propagació i la reacció del foc en materials i productes. Ens haurem de familiaritzar amb les diferents eines i aparells de les que disposem en aquest laboratori. Una vegada realitzades aquestes pràctiques, analitzarem detalladament els resultats obtinguts i en traurem conclusions a més d'explicar el motiu del perquè d'aquests resultats.

### **4.3. Actitudinals**

Per últim, els objectius actitudinals que ens hem proposat són treballar de manera constant i en grup, és a dir, compartint idees i complementant-nos els uns als altres amb coneixements que anem adquirint.

Aplicar i assumir càrrecs diferents a cada membre del grup per tal de treballar per igual tots i saber afrontar i solucionar tots aquells problemes que puguin sorgir de manera ràpida i eficaç.

Creiem que el treball no consta únicament en dur a terme certes simulacions i aprendre nous coneixements, sinó que una part molt important del treball és saber distribuir bé la

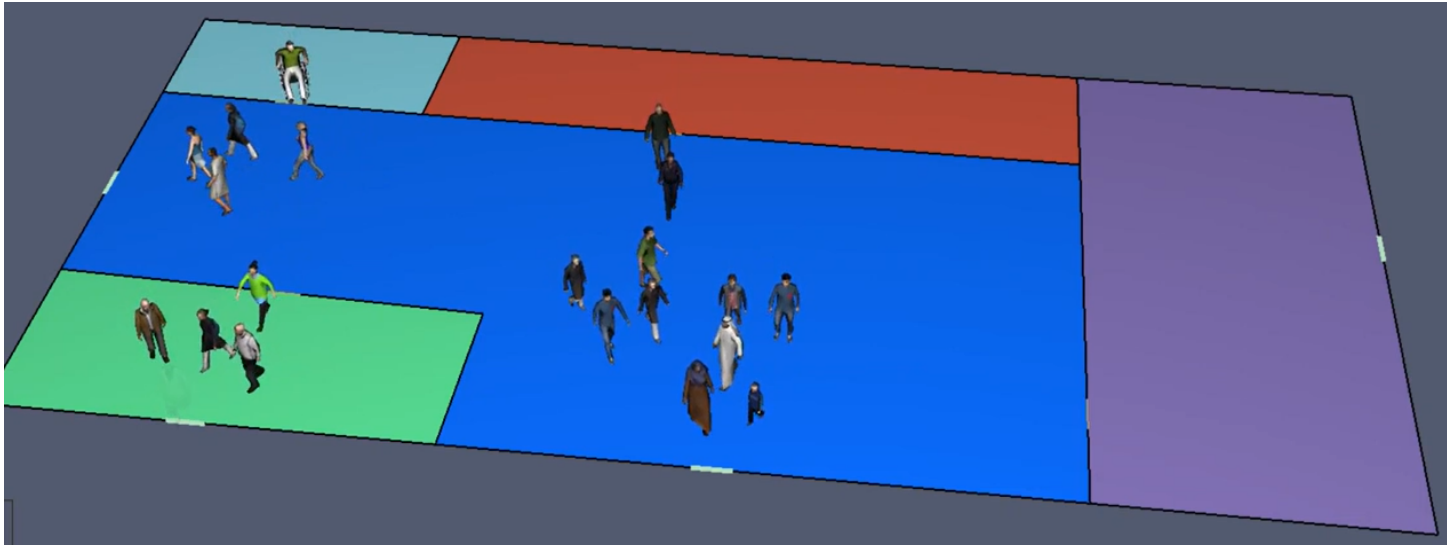
feina, fer-la en el marc de temps adequat, tenir una bona relació entre els companys del grup i donar el màxim de nosaltres en tot moment per tal de tirar el nostre treball endavant.

## **5. Metodologia**

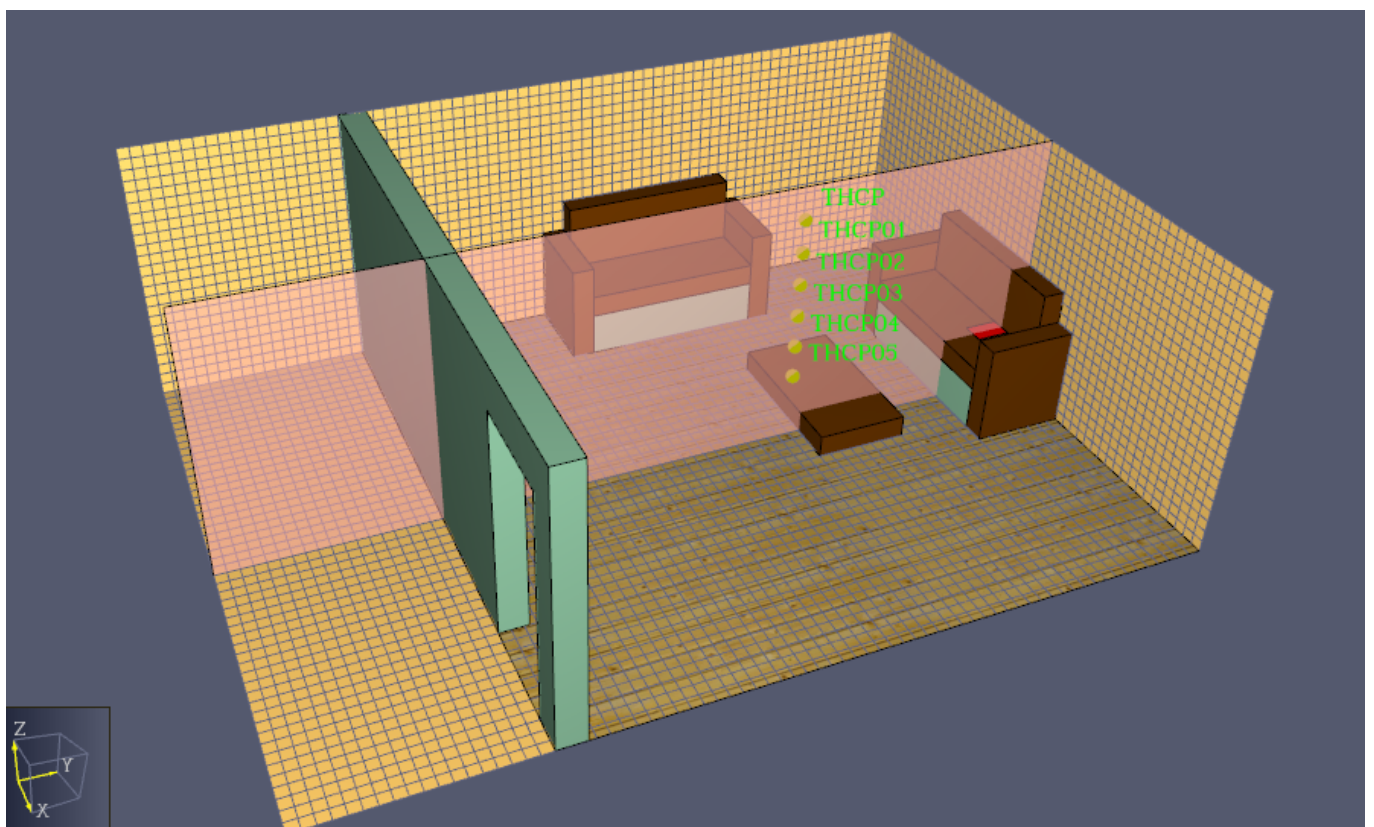
A dins d'aquest apartat s'especifica les etapes de treball que s'ha emprat per assolir l'objectiu de millorar les mesures de seguretat o comprovar que les actuals són les més efectives en un edifici de l'escola. A continuació es troben els passos que hem seguit per a la realització del projecte complint tots els objectius proposats inicialment.

Abans de tot, vam començar a estudiar la prevenció de riscos laborals concretament a les escoles, vam llegir la normativa corresponent a la protecció de riscos laborals, i a partir d'aquesta vam adaptar el nostre treball perquè s'ajustés a aquesta normativa. També ens vam iniciar amb els programes "PyroSim" i "Pathfinder". Primerament vam realitzar dues simulacions senzilles amb poques variables. Aquestes simulacions les vam realitzar amb l'ajuda dels manuals oficials dels programes. La simulació en "PyroSim" consistia en un petit incendi en un sofà situat en un saló d'una casa. La simulació en "Pathfinder" consistia en l'evacuació d'un habitatge en la qual persones de diferents edats que caminaven a diferents velocitats evacuaven l'habitatge, vam realitzar la simulació amb una i dues sortides d'emergència per comparar els resultats.

Gràcies a aquestes simulacions que es poden observar a les Figures 1 i 2 vam comprendre millor el funcionament bàsic dels programes.



*Figura 1: Imatge de la primera simulació realitzada amb el programa "Pathfinder". Es pot observar com les diferents persones es dirigeixen a les sortides d'emergència més properes a ells.*



*Figura 2: Imatge de la primera simulació realitzada amb el programa "PyroSim". Al sofà de la dreta és on s'origina el foc i hi ha diferents sensors que ens permeten saber la temperatura a diferents alçades.*

Una vegada que vam conèixer la planificació preventiva escolar i el seu pla d'emergència vam fer les simulacions de l'evacuació de l'escola. Vam començar a dissenyar els plànols d'un dels edificis de l'escola (figura 4). Vam dissenyar-lo mitjançant el programa "Sketchup" a partir d'una imatge dels plànols de l'edifici. Vam prendre mesures de diferents parts de l'edifici per poder dissenyar-lo a escala.



*Figura 3: Imatge via Google Earth de l'edifici A de l'Escola Sant Gervasi.*



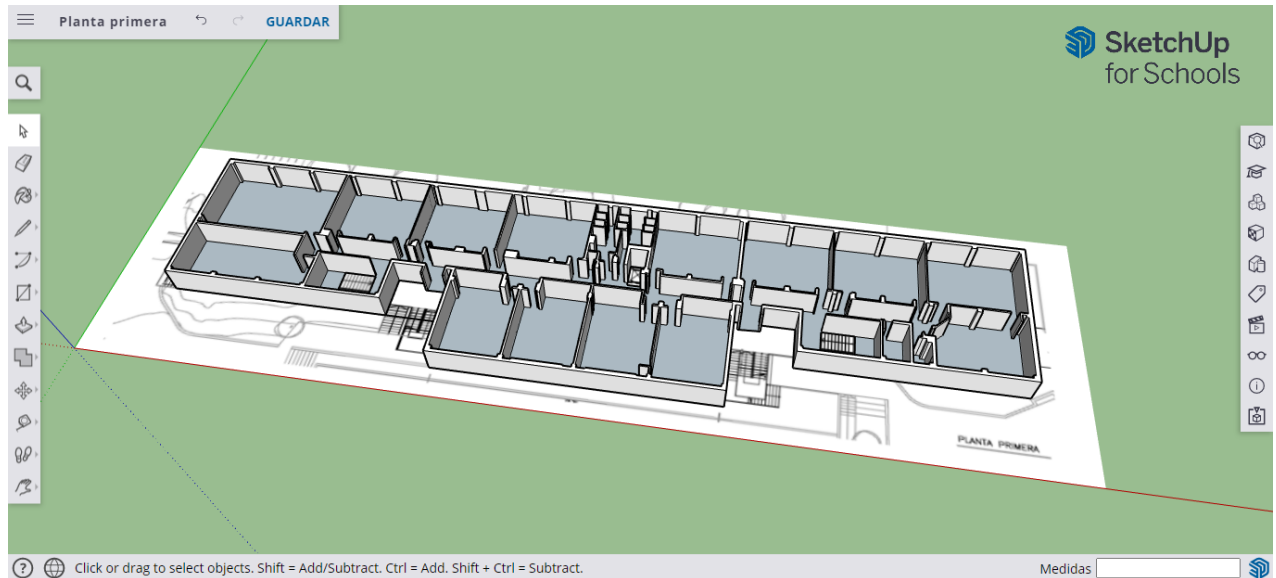


Figura 4: Imatge del disseny previ de l'edifici en el programa "Sketchup".

A la vegada vam decidir amb quin tipus de material voldríem fer els experiments al laboratori del foc. Vam optar per aquells materials que es troben en abundància a les aules. Vam trobar que el material que es trobava principalment consistia en cadires i taules. Una vegada vam aconseguir el material el vam tallar (figura 5) perquè tingués les mides adequades per utilitzar-lo en les màquines del laboratori.





*Figura 5: Imatges del procés de preparació de les peces necessàries per al laboratori.*

Per tal realitzar la simulació amb el programa "PyroSim", ens va caler importar els dissenys fets amb el programa "Sketchup". Utilitzant aquest mètode de treball, vam poder dissenyar l'edifici, en el qual vam decidir centrar aquest treball, amb major precisió i facilitat, ja que el programa "PyroSim" en temes de disseny és més difícil d'utilitzar.

En el programa "Pathfinder" vam importar les 4 plantes de l'edifici (l'estructura de l'edifici s'especifica a l'apartat 6.2) en un únic arxiu i les vam col·locar de tal manera que van quedar les 4 plantes una a sobre de l'altre. Al mateix programa vam afegir les escales i les portes internes i externes de l'edifici.

Una vegada vam tenir els dissenys al programa, vam haver de realitzar un estudi dels diferents comportaments (alçada, velocitat...) de les persones que es troben a l'edifici en qüestió (Trobareu tota la informació a l'apartat 6.2 Característiques de l'edifici i ocupants). Cal esmentar, que vam escollir aquest edifici per la seva diversitat de persones.

Després de recollir les dades, vam crear els diferents personatges amb característiques personalitzades segons les dades recollides en la recerca prèvia, d'aquesta manera, vam poder realitzar una evacuació simulada de l'edifici amb major precisió i millorar l'actual protocol d'evacuació; i en definitiva el pla d'autoprotecció de l'escola. (Apartat 6.6.2 Simulacions d'evacuació).



Per tal d'adquirir més coneixements del foc vàrem reunir-nos amb dos bombers del cos de bombers de Mollet del Vallès al mateix Parc de Bombers (figura 6). Ells ens van parlar de tots els tipus de focs que hi ha i la seva classificació, el mètode d'extinció de cadascun d'ells, els tipus d'agents extintors que s'utilitzen en cada cas... A més a més ens van explicar els mètodes d'actuació dels bombers davant una emergència i la prevenció de riscos.



*Figura 6: Instal·lacions del Parc de Bombers de Mollet del Vallès.*

Seguidament vam començar l'elaboració dels plànols d'evacuació de l'edifici A de l'escola marcant les vies d'evacuació més ràpides en cas d'emergència. En el disseny a "Sketchup" vam posar els diferents senyals i les mesures contra incendis. Els elements que vam utilitzar van ser extintors (de pols per tipus de focs A B C, d'escuma per focs de tipus A i B, i de CO<sub>2</sub> per focs de tipus B i C), polsadors d'emergències, botzines i mànegues (B.I.E.). Les vam situar en diferents zones de l'edifici seguint la normativa. En els plànols 2D vam afegir les rutes d'evacuació que s'haurien de seguir en cada moment en cas d'emergència. Aquests resultats els trobareu a l'apartat 4.7.1 Plànols d'evacuació.

## 6. Cos del treball

### 6.1. Organització preventiva a l'escola

Totes les empreses, incloses les Administracions Públiques, han de comptar amb un sistema d'organització de la prevenció de riscos. En funció del nombre de treballadors i treballadores de l'empresa, i les activitats laborals que es desenvolupen, hi ha diferents models d'organització de recursos pel desenvolupament de l'activitat preventiva:

- a) L'empresari assumeix personalment l'activitat preventiva.
- b) Designació d'un a diversos treballadors de l'empresa.
- c) Constitució d'un servei de prevenció propi.
- d) Contractació d'un servei de prevenció aliè.

L'escola no supera els 250 treballadors i per tant poden recórrer a un servei de prevenció aliè (SPA). Els serveis de prevenció aliens són entitats acreditades per l'autoritat laboral per assessorar les empreses en matèria de prevenció de riscos laborals, d'acord amb els termes que figuren el concern subscrit entre ambdues parts, i hauran d'assumir directament el desenvolupament de les funcions assenyalades a l'apartat 3 de l'article 31 de la Llei de prevenció de riscos laborals (Annexos apartat 9), que hagin concertat. El coordinador o la coordinadora de riscos d'un centre educatiu és la persona que realitza les tasques de vigilància i coordinació en matèria de seguretat i riscos laborals al seu centre de treball. Ha de rebre les orientacions del Servei de Prevenció de riscos Laborals dels Serveis Territorials corresponents.

Aquestes entitats especialitzades han de disposar de les instal·lacions i els recursos humans i materials necessaris que permetin desenvolupar adequadament l'activitat preventiva, tenint en compte el tipus, extensió i freqüència dels serveis preventius que han de prestar i la ubicació dels centres de treball en què aquesta prestació ha de desenvolupar-se. Han de disposar, com a mínim, dels mitjans següents:

1. Personal que tingui la qualificació necessària per a l'acompliment de les funcions de nivell superior, almenys un expert per cadascuna de les disciplines preventives:

- a. Medicina de la feina
- b. Seguretat en el treball
- c. Higiene industrial
- d. Ergonomia i psicociologia aplicada

Així mateix hauran de comptar amb el personal necessari que tingui la capacitat requerida per exercir les funcions dels nivells bàsic i intermedi en funció de les característiques de les empreses cobertes pel servei.

2. Les instal·lacions i instrumentació necessàries per realitzar les proves, reconeixements, mesuraments, anàlisis i avaluacions habituals en la pràctica de les especialitats citades, així com pel desenvolupament de les activitats formatives i divulgatives bàsiques.

### **6.1.1. Equips d'emergència**

#### **Coordinador General (C.G.)**

És la màxima autoritat, i és el director pedagògic del centre. És responsable de decidir les mesures que es prenen en cada situació, de rebre tota la informació sobre les classes, rebre la informació de les incidències per part dels coordinadors de planta, mantenir la comunicació amb els bombers i la policia i d'avisar a les famílies de les persones afectades.

#### **Centre de comunicació i alarmes (C.C.A.)**

Totes les informacions que s'han de gestionar durant un cas d'emergència se centralitzen en el centre de comunicació i alarmes. El personal que es troba en aquest lloc és l'encarregat de rebre l'alarma i comunicar l'emergència als operatius adients com els equips de primera intervenció així com de difondre l'alerta.

### **Equip de primera intervenció (E.P.I.)**

Ha d'estar format per un nombre determinat de persones, preferiblement no docents, que s'encarreguen de desconnectar les instal·lacions i servir d'element de suport en l'evacuació. Han de tancar la clau general del gas, el subministrament elèctric, bloquejar els ascensors, combatre l'incendi amb extintors i vetllar perquè els evacuats arribin als punts de reunió. També ha d'ajudar als evacuats a arribar als punts de reunió.

### **Equip d'alarma i evacuació (E.A.E.)**

L'equip d'alarma i evacuació està format per tot el personal del centre tant el docent com el no docent. Aquest equip serà l'encarregat de donar l'alarma en cas d'emergència i d'evacuar l'edifici de la forma més eficient.

### **Coordinadors de planta**

Els coordinadors de planta seran aquells professors/es que es trobin a les aules més llunyanes de la sortida de la planta. Les seves funcions seran: comprovar que no hi hagi cap alumne a cap aula o espai de la planta un cop aquesta s'hagi evacuat i dirigir, en la mesura del possible, l'evacuació de la planta. Són les últimes persones que abandonen la planta i informen al coordinador general.

### **Responsable d'obrir i tancar les portes exteriors (P.E.)**

El responsable d'obrir i tancar les portes haurà de ser una persona que no sigui responsable directe de cap alumne. Les seves funcions seran: obrir les portes i les sortides de l'edifici (en cas d'evacuació) i tancar les portes i les sortides de l'edifici (en cas de confinament).

### 6.1.2. Procediment d'avís d'emergència



### 6.2. Característiques de l'edifici i ocupants

Hem escollit l'edifici A de l'escola, ja que és un edifici amb molta diversitat d'alumnes pel que fa a la seva edat i per tant el seu comportament. En aquest edifici hi podem trobar alumnes dels següents cursos:

Educació Infantil, de 3 anys a 6 anys, amb les etapes de P3, P4, P5.

Educació Primària, dels 6 anys als 12 anys, amb les etapes de 1r, 2n, 3r, 4t i 5è de primària.

**NOTA:** 6è de primària no es realitza en aquest edifici i per tant, no l'hem inclòs en el nostre estudi.

Educació Secundària Obligatòria (ESO), dels 12 anys als 16 anys, amb les etapes de 1r, 2n, 3r i 4t d'ESO.

Batxillerat, dels 16 anys als 18 anys, amb les etapes de 1r i 2n de Batxillerat.

Per tal de dur a terme les simulacions de forma més detallada i el més aproximades a la realitat possible, hem realitzat una recerca per a saber amb més exactitud les característiques dels alumnes de cada curs, ja que depenent de l'edat, l'alçada i l'amplària de l'alumne, la manera de desplaçament serà diferent.

En aquest cas, al programa emprat a les simulacions de l'evacuació ("Pathfinder") de l'edifici, és molt important introduir les variables de l'amplada de l'alumnat i professorat, per tal que el programa pugui interpretar la quantitat de persones a la vegada que hi caben en un passadís o les persones que poden sortir a l'hora per una porta; també la velocitat a la qual es desplacen i així el programa pugui dur a terme els càlculs pertinents del temps que es triga a evacuar l'edifici; i la seva alçada, per si hi hagués una zona en la qual no es pogués passar depenent de l'altura (cosa bastant poc probable), és per això que hem fet una recerca de l'amplada, alçada i velocitat mitjana dels alumnes de cada curs que es troben en aquest edifici [P3, P4, P5, 1r, 2n, 3r, 4t i 5è de primària (classes normals), ESO i batxillerat (laboratori i tallers)]. El curs de 6è de Primària es troba en un altre edifici de l'escola. Les dades de l'alçada i l'amplada han estat extretes de l'OMS (Organització Mundial de la Salut).

	EDUCACIÓ INFANTIL			EDUCACIÓ PRIMÀRIA		
Curs	P3	P4	P5	1r	2n	3r
<b>Alçada (m)</b>	0,93	1,01	1,08	1,14	1,21	1,26
<b>Amplària (cm)</b>	25,58	27,58	30,58	32,58	33,58	35,58
<b>Velocitat de moviment (m/s)</b>	1,8	1,01	1,08	1,12	1,8	1,8

	EDUCACIÓ PRIMÀRIA				
Curs	4t	5è	ESO	Batxillerat	Personal docent
Alçada (m)	1,32	1,37	1,55	1,67	1,7
Amplària (cm)	37,58	39,58	45,58	45,58	45,58
Velocitat de moviment (m/s)	1,8	1,65	1,65	1,62	1,8

Edifici A (figura 7): Té una estructura de formigó i maons, va ser construït l'any 1987 i té una superfície aproximada de  $3116,02 \text{ m}^2$ . Aquest edifici consta de 4 plantes i aquestes estan dividides en diversos espais (aules, laboratoris, biblioteques, tallers, despatxos, quadres elèctrics...).

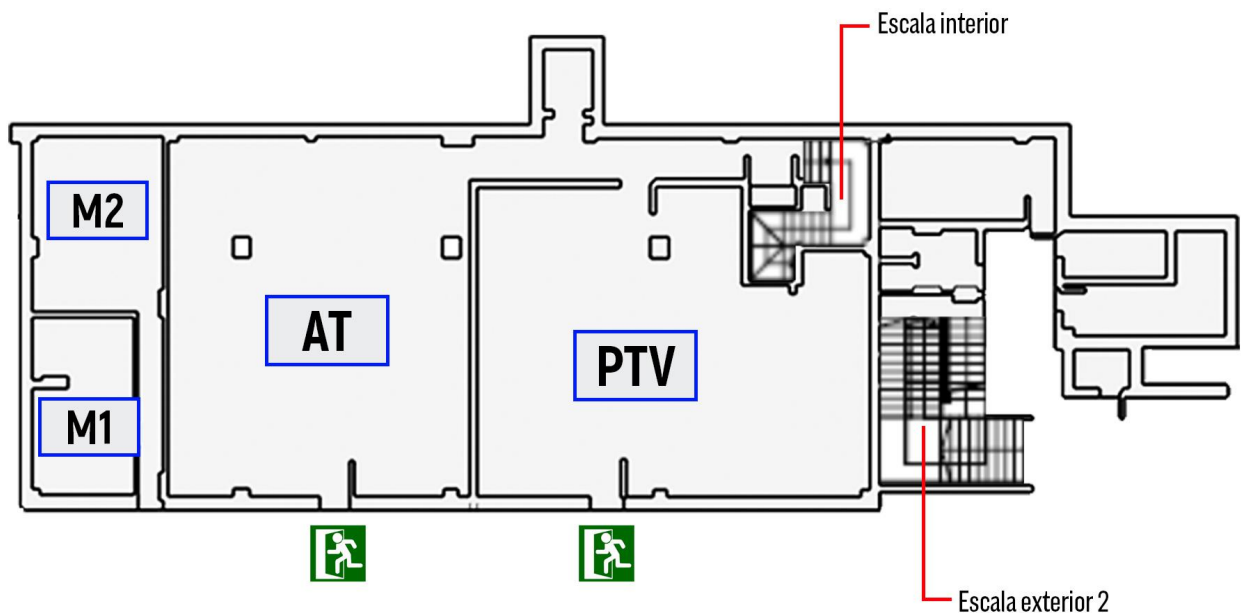


*Figura 7: Fotografia des d'una posició elevada de l'edifici A de l'escola.*

**PLANTA 0 (Soterrani) (figura 8):**

Al soterrani s'hi pot accedir mitjançant una petita escala interior a l'edifici que comunica la planta 0 amb la planta 1 tot i que no s'utilitza com ús d'evacuació o bé per les 3 sortides directes a l'exterior de l'edifici a peu del pati que es troba just davant d'aquest. Hi trobem els següents 4 espais.

PTV Plató de TV	M1 Sala de manteniment
A015 Aula Taller	M2 Sala de manteniment



*Figura 8: Visió en planta de la planta 0 amb els espais etiquetats.*



### PLANTA 1 (Planta primera) (figura 9):

La planta primera té 2 accessos directes a l'exterior de l'edifici, un a cada extrem de la planta. Hi trobem els següents 20 espais.

OF1 Despatx	P1 Aula Pàrvuls
OF2 Sala Professors	P2 Aula Pàrvuls
OF3 Despatx	P3 Aula Pàrvuls
OF4 Despatx	P4 Aula Pàrvuls
E0 Recursos	P5 Aula Pàrvuls
SM Servei Mèdic	WC2
Pr1 Aula Primària	OF5 Despatx
Pr2 Aula Primària	Pr4 Aula Primària
Pr3 Aula Primària	AD1 Aula Desdoblament Primària
WC1	AD2 Aula Desdoblament Primària

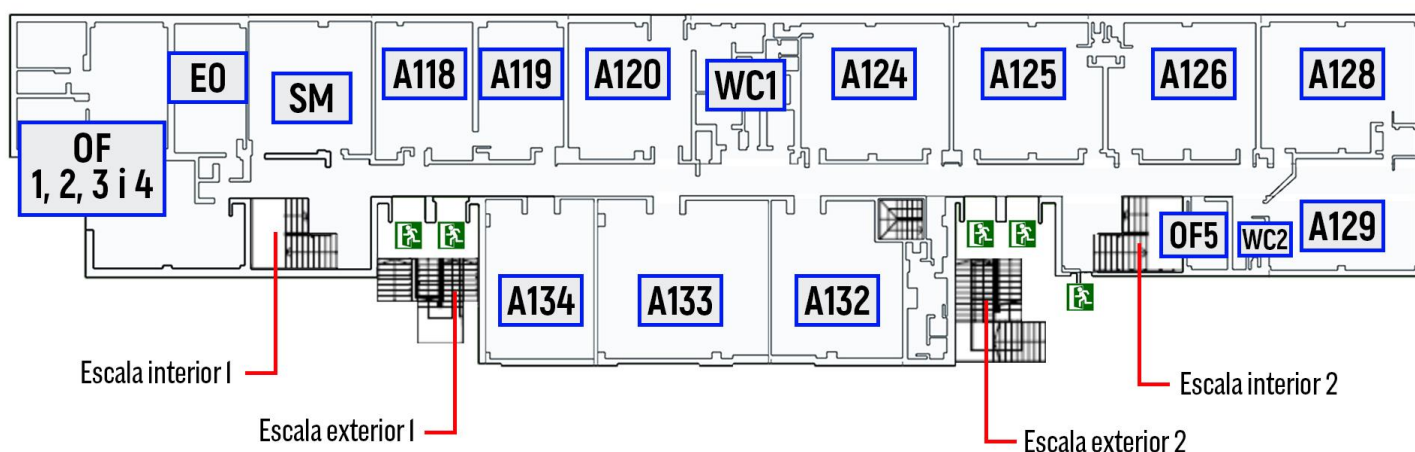
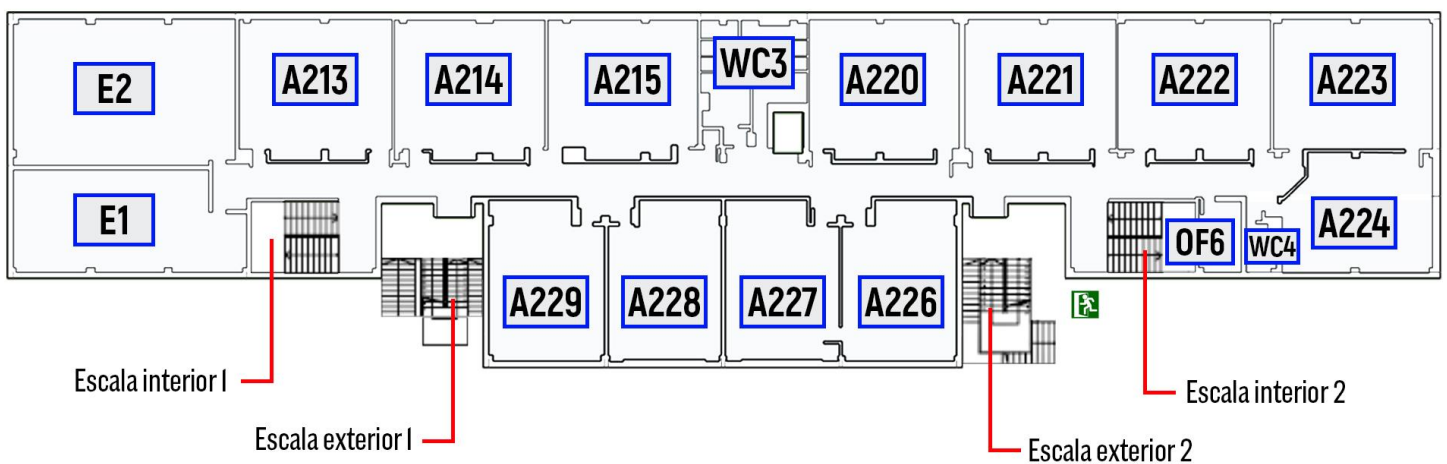


Figura 9: Visió en planta de la planta 1 amb els espais etiquetats.

**PLANTA 2 (Planta segona) (figura 10):**

A la planta segona s'hi pot accedir mitjançant 2 escales interiors obertes situades a cada costat de l'edifici i que comuniquen entre si les plantes, o bé mitjançant les escales exteriors metàl·liques situades a cada costat de l'edifici. Hi trobem els següents 15 espais.

E1 Biblioteca / Aula	P9 Aula Pàrvuls
E2 Lab. C. Naturals	P10 Aula Pàrvuls
Pr5 Aula Primària	WC4
Pr6 Aula Primària	OF6 Arx./Despatx
Pr7 Aula Primària	Pr7 Aula Primària
WC3	Pr8 Aula Primària
P6 Aula Pàrvuls	Pr9 Aula Primària
P7 Aula Pàrvuls	Pr10 Aula Primària
P8 Aula Pàrvuls	



*Figura 10: Visió en planta de la planta 2 amb els espais etiquetats.*

### PLANTA 3 (Planta tercera) (figura 11):

La planta tercera té els mateixos accessos que la planta primera, s'hi pot accedir per les escales metàl·liques situades a l'exterior de l'edifici una a cada banda o bé per les escales interiors. En aquesta planta trobem els següents 15 espais.

OF7 Oficina	Pr15 Aula Primària
Pr10 Aula Primària	Pr17 Aula Primària
Pr11 Aula Primària	Pr18 Aula Primària
Pr12 Aula Primària	AD3 Aula Desdoblament
Pr13 Aula Primària	AP1 Aula Pilot
Pr14 Aula Primària	WC6
Pr15 Aula Primària	OF8 Oficina
WC5	

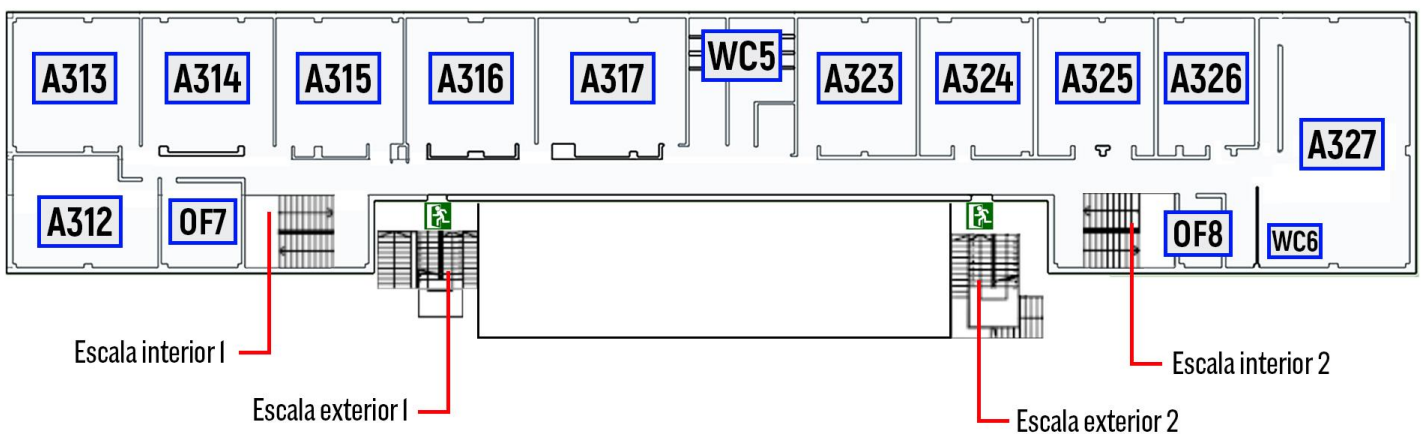


Figura 11: Visió en planta de la planta 3 amb els espais etiquetats.

### **6.3. Ocupació de les aules**

PLANTA 0:

Alumnes dels cursos ESO / BATXILLERAT: 40

Personal docent: 5

Personal no docent: 0

*Total aproximat: 45*

PLANTA 1:

Alumnes dels cursos INFANTIL / PRIMÀRIA: 330

Personal docent: 42

Personal no docent: 8

*Total aproximat: 380*

PLANTA 2:

Alumnes dels cursos INFANTIL / PRIMÀRIA: 430

Personal docent: 19

Personal no docent: 1

*Total aproximat: 450*

PLANTA 3:

Alumnes de PRIMARIA: 374

Personal docent: 20

Personal no docent: 1

*Total aproximat: 395*

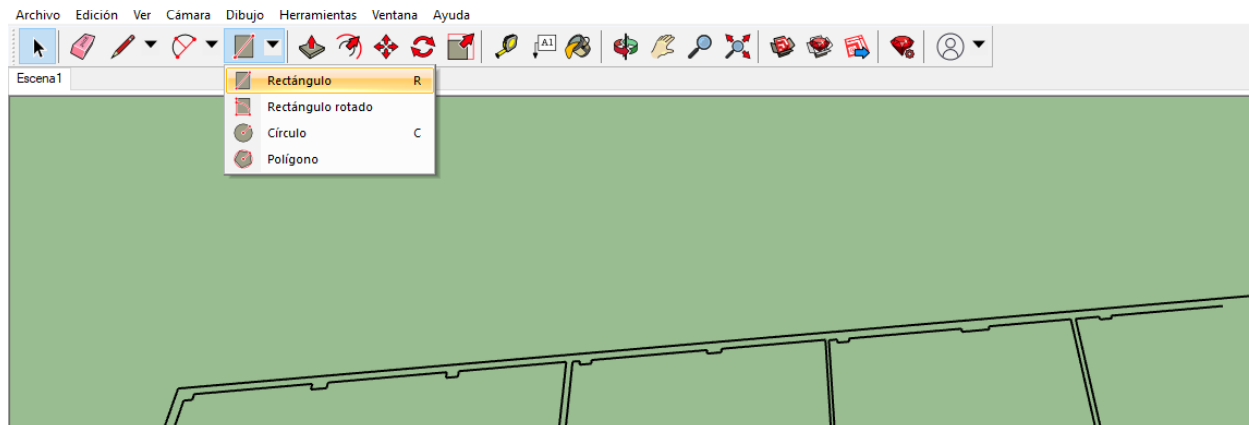
Actualment aquesta és l'ocupació màxima d'alumnes de cada curs, personal docent i personal no docent de cada planta de l'edifici A de l'escola.

## 6.4. Plànols de l'edifici

Per tal de realitzar els següents plànols en 2D, hem seguit la metodologia següent:

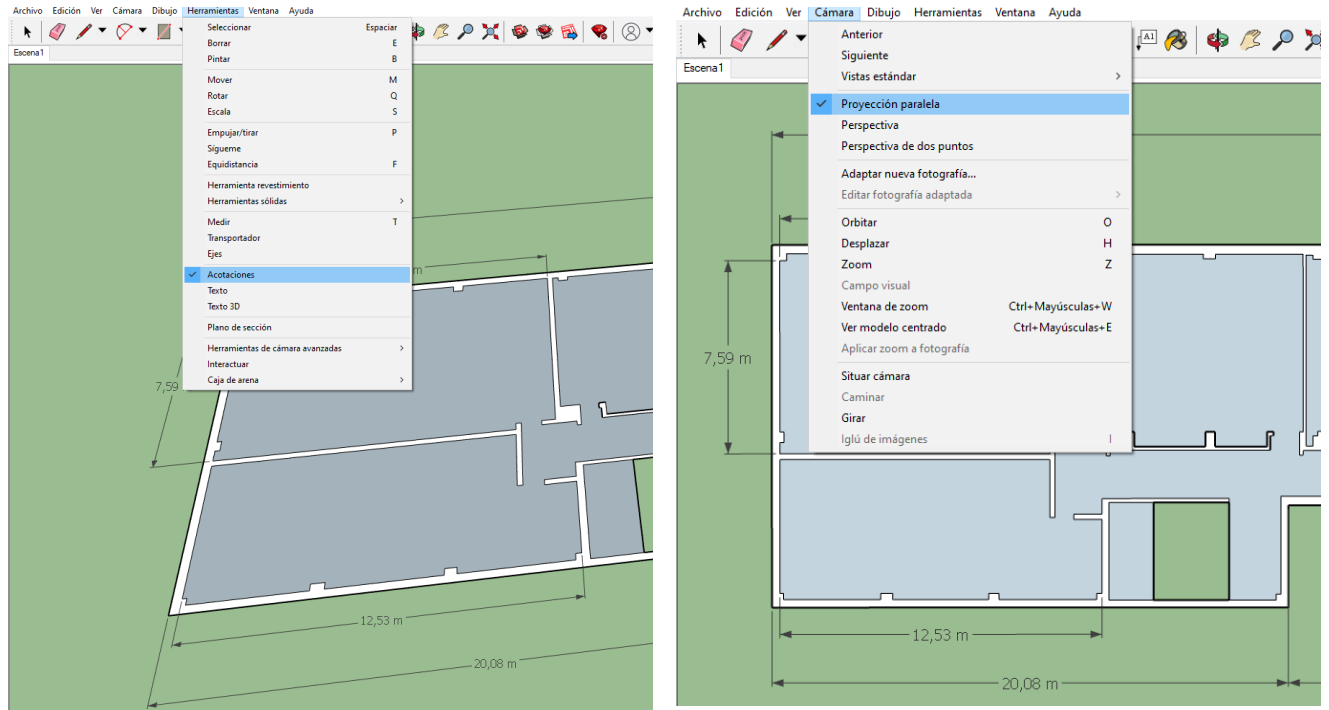
En primer lloc agafar els plànols originals de l'edifici cedits pel nostre tutor com a punt de referència, amb els valors obtinguts a les mesures realitzades.

En segon lloc, amb el programa de disseny "Sketchup" vam començar a dissenyar les plantes de l'edifici amb les eines "Formes" i "Lineas". (figura 12)



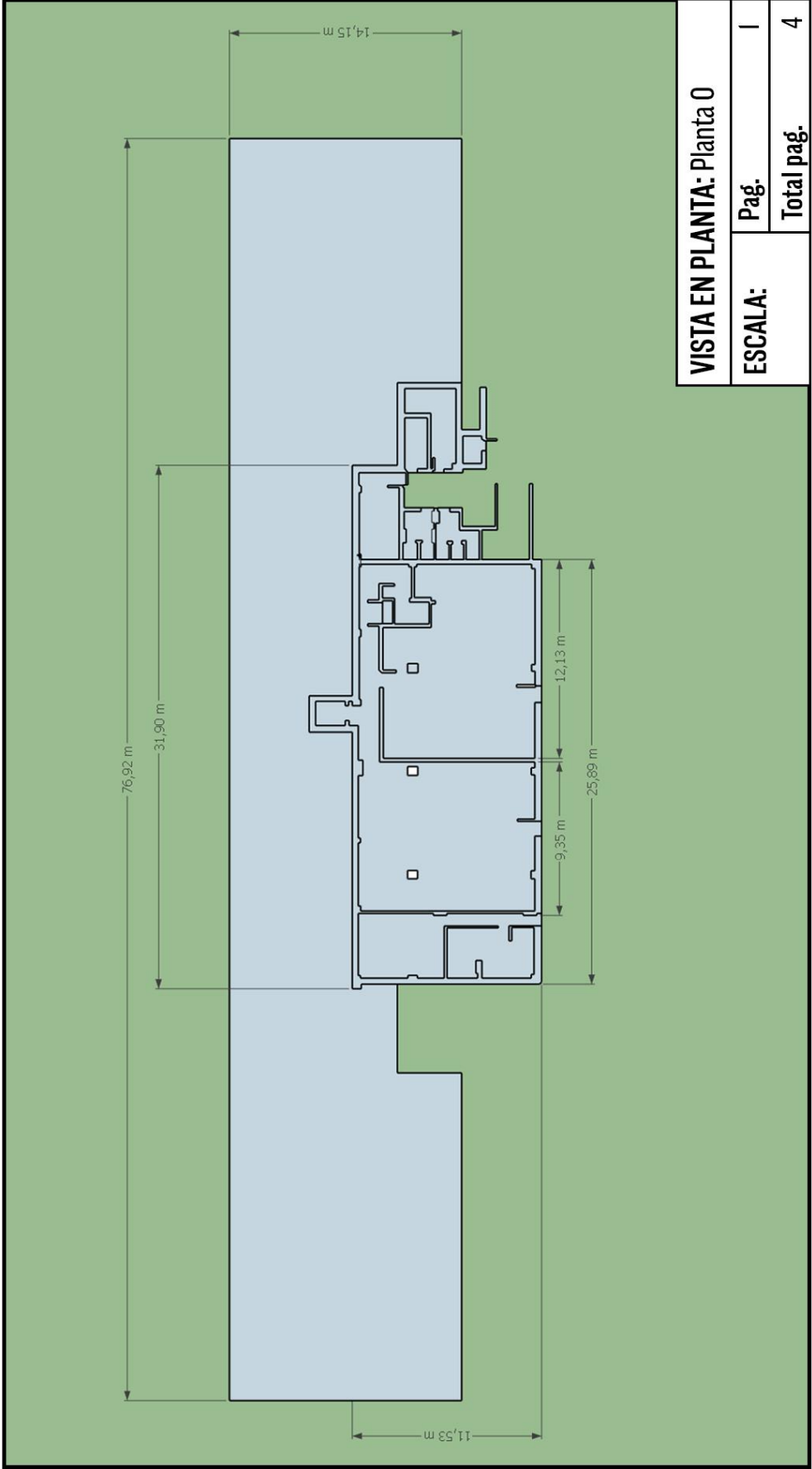
*Figura 12: Procés de disseny dels plànols 2D en Sketchup afegint formes i línies.*

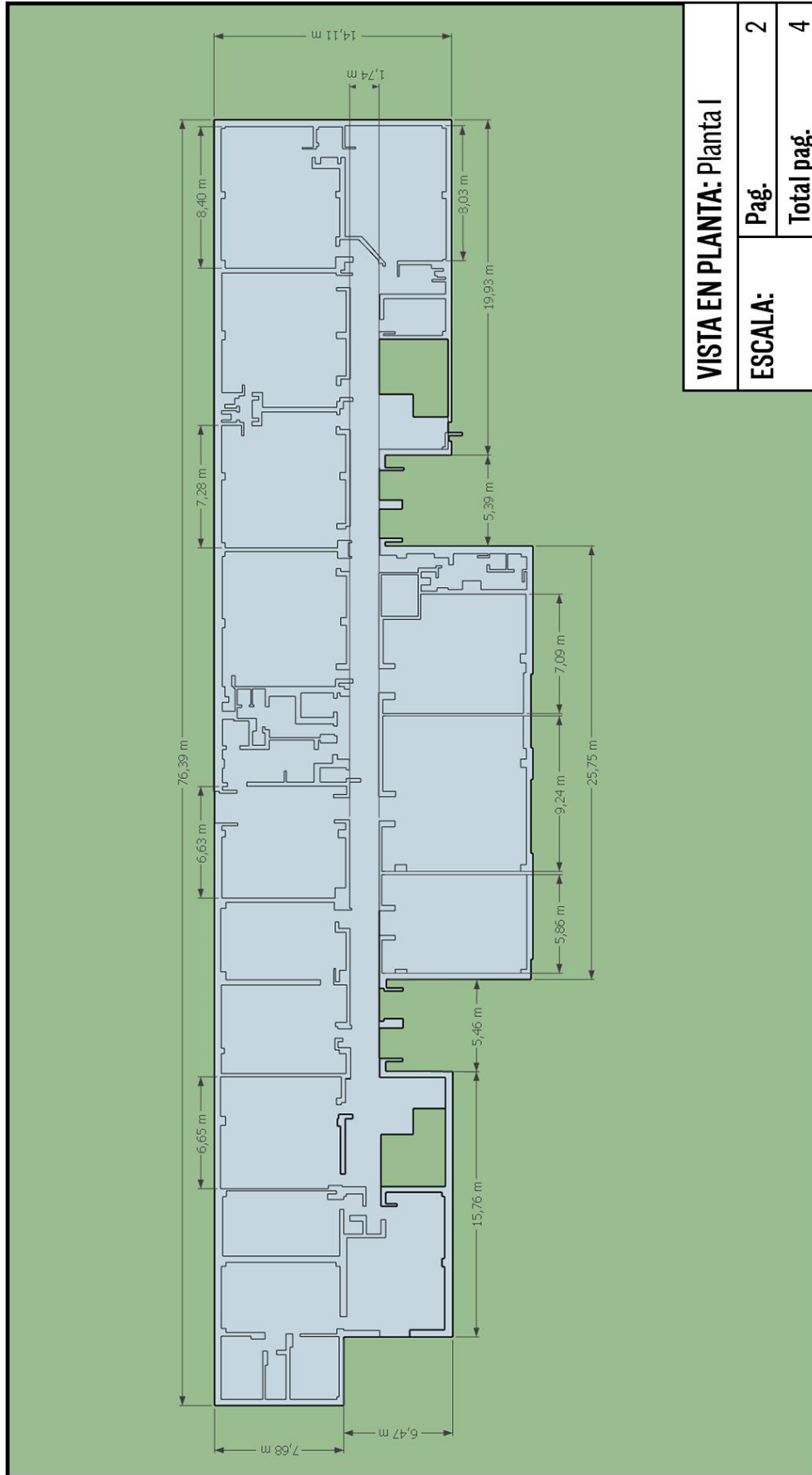
Un cop dissenyades les plantes en 2D, amb aquest mateix programa vam afegir les acotacions necessàries amb l'eina anomenada "Acotaciones". Un cop realitzat aquest procés, vam posar la càmera en mode "Proyección paralela" enfocant la planta i seguidament guardar la imatge. (figures 13 i 14).



Figures 13 i 14: Procés d'afegir acotacions al plànol 2D i visió de projecció paral·lela.

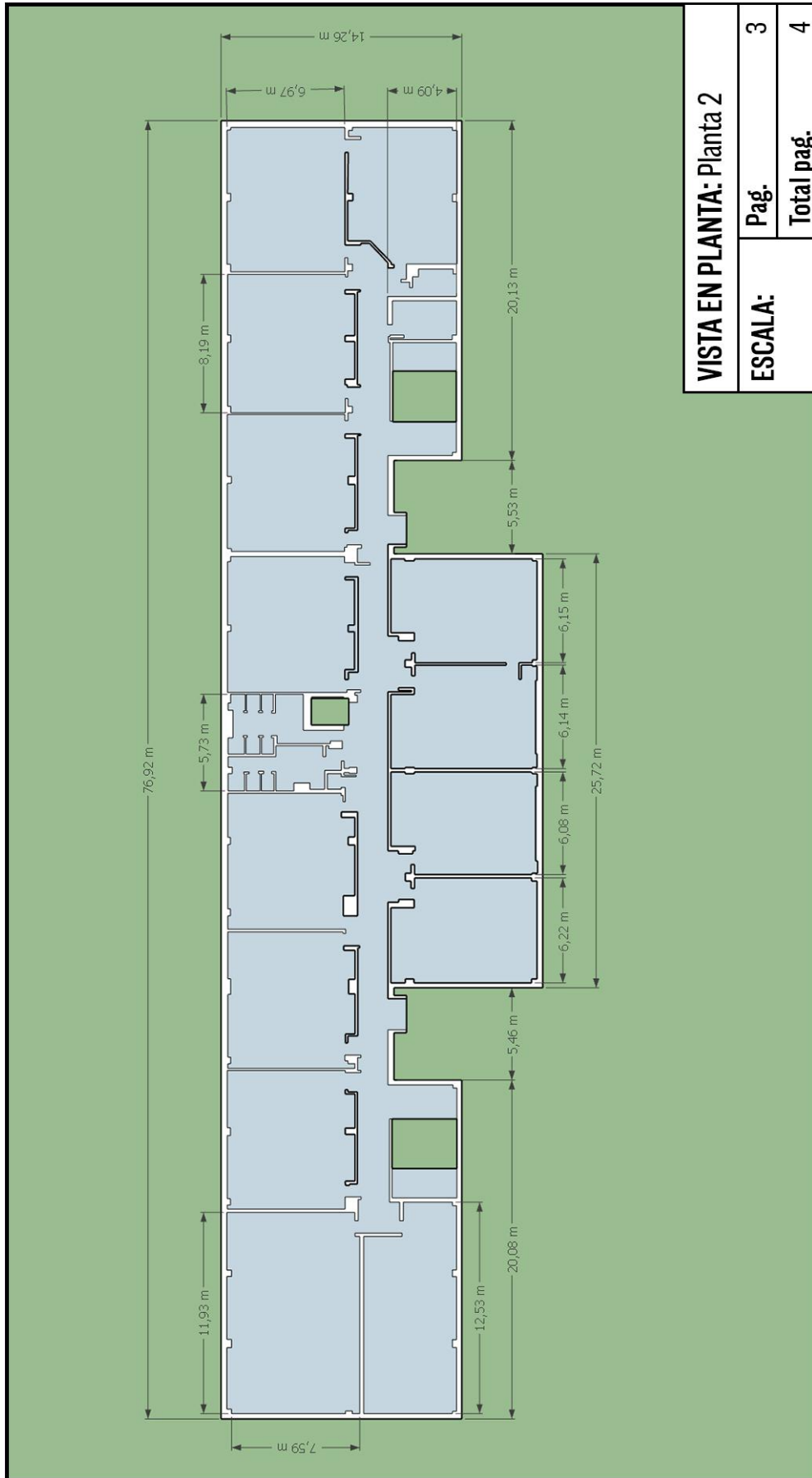
Les acotacions de l'edifici han estat posades en **metres [m]**, ja que en el món de l'arquitectura és el que ha estat estandarditzat per conveni.



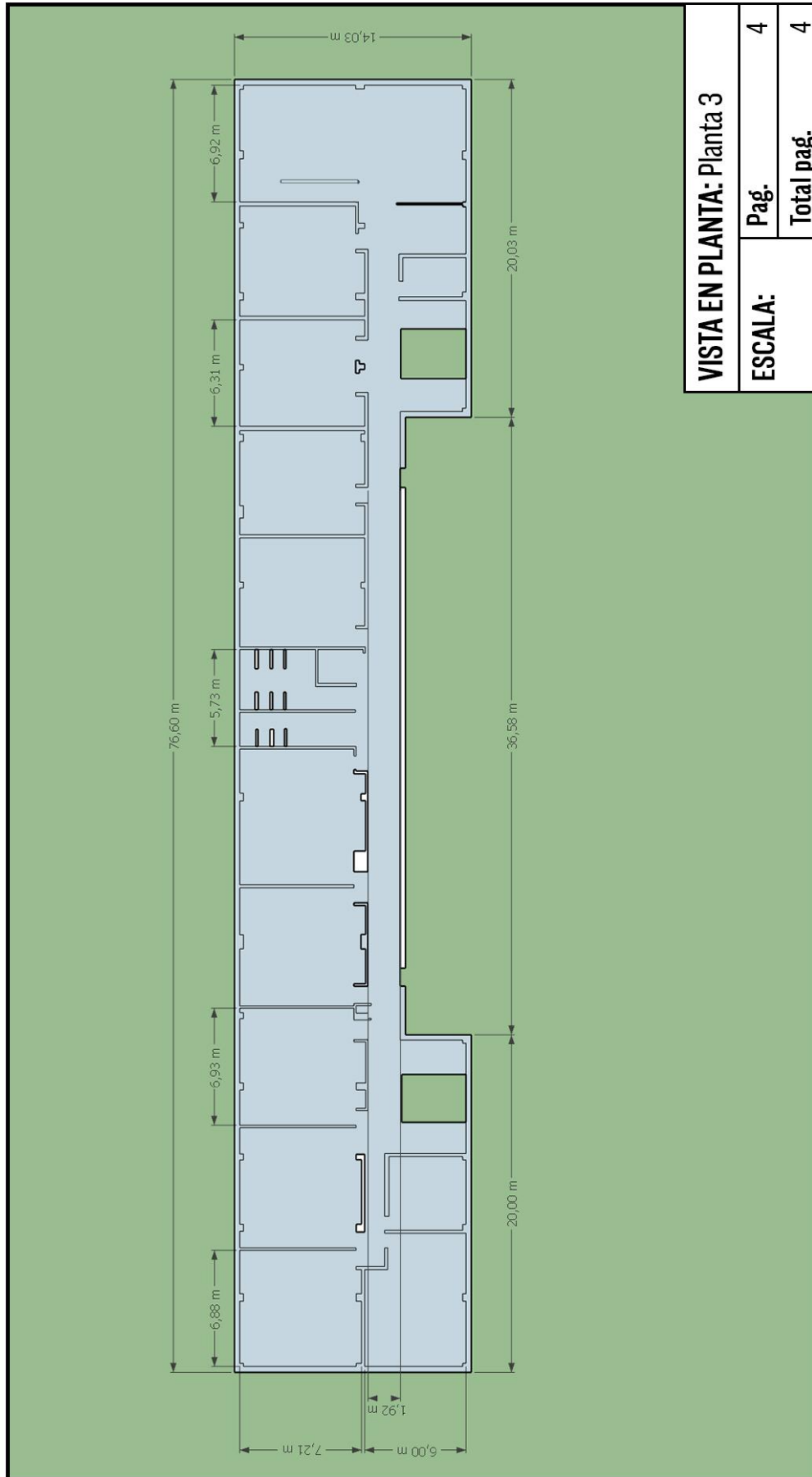


<b>VISTA EN PLANTA: Planta I</b>	
<b>ESCALA:</b>	<b>Pag. 2</b>
	<b>Total pag. 4</b>





<b>VISTA EN PLANTA: Planta 2</b>	
<b>ESCALA:</b>	<b>Pag. 3</b>
	<b>Total pag. 4</b>



<b>VISTA EN PLANTA: Planta 3</b>	
<b>ESCALA:</b>	<b>Pag. 4</b>
	<b>Total pag. 4</b>

## 6.5. Experimentació al laboratori del foc

### 6.5.1. Laboratori del Foc de l'EPSEB (Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona)

La part experimental del nostre treball està basada en l'anàlisi d'alguns dels materials que podem trobar a l'escola. Aquesta part experimental la vam realitzar al *Laboratori del foc* de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

El **Laboratori del Foc de l'EPSEB** (figura 15) es va crear l'any 2002, fruit d'un conveni de col·laboració amb el Servei de Prevenció i Extinció d'Incendis i Salvament (SPEIS) de l'Ajuntament de Barcelona. L'any 2005 el Laboratori va iniciar una nova etapa en la qual es va voler donar un paper més important a la recerca en els àmbits de l'estudi i millora de la reacció al foc dels materials i a la utilització de tècniques de simulació computacional de propagació d'incendis. Al llarg d'aquests anys s'ha anat consolidant, convertint-se en un laboratori innovador, amb una alta productivitat científica dins del seu àmbit. Paral·lelament, s'ha anat dotant de nous equips, la qual cosa permet oferir una millora formativa als estudiants.



*Figura 15: Interior del Laboratori del Foc amb la seva maquinària.*

Gràcies a aquestes instal·lacions vam poder realitzar diferents assajos amb els materials que vam escollir, per tal de saber els seus efectes en cas d'incendi.

### 6.5.2. Materials assetjats dintre del laboratori

Vam fer un recull dels que podem trobar amb més abundància a les aules de l'edifici que d'estudi.

Per tal de no haver d'utilitzar material de l'escola en bon estat, vam contactar amb manteniment per aconseguir mostres de material retirat (sigui per estar en mal estat o per ser antic).



#### **Cadira** (figura 16):

Les cadires és un material que trobem en abundància en totes les aules de l'edifici; i com a conseqüència és important tenir-les en compte en cas d'incendi.

Material compost: Contraplacat amb una capa exterior de plàstic.

*Figura 16: Imatge de la cadira desmuntada.*



#### **Prestatgeria** (figura 17):

En l'edifici A de la nostra escola, com a tots als centres hi ha una gran quantitat de llibres, els quals estan col·locats en les prestatgeries de les aules. Per aquest motiu és important tenir-les en compte en cas d'incendi.

Material: Aglomerat xapat.

*Figura 17: Imatge d'un tros de prestatgeria.*

**Taula** (figura 18):



Les taules igual que les cadires són un objecte que trobem amb abundància en totes les aules de l'edifici; i com a conseqüència és important tenir-les en compte en cas d'incendi.

Material compost: Cartró premsat amb una capa de plàstic.

*Figura 18: Imatge de la taula en procés de ser tallada.*

**Canaletes** (figura 19):



En molts casos trobarem aquestes canaletes tipus tancada a les aules per passar cablejat elèctric i no es faci malbé.

Material: Polyvinyl Chloride (PVC).

*Figura 19: Imatge de les canaletes (40x40 (mm)).*

**Cartró ploma** (figura 20):

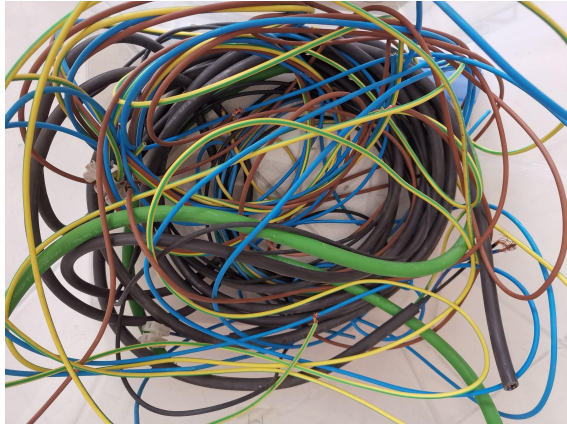


Aquest material el podem trobar principalment al taller de tecnologia, ja que és utilitzat en diversos projectes de matèries com tecnologia.

Material: Polièstirè expandit recobert per les dues cares amb un cartró.

*Figura 20: Imatge del cartró ploma utilitzat.*





**Cablejat elèctric (figura 21):**

Podem trobar cablejat elèctric en pràcticament tot l'edifici, ja sigui per l'interior de les parets o per canaletes.

Material: Interior de coure amb recobriment de plàstic.

*Figura 21: Imatge del cablejat elèctric assetjat.*

Perquè l'experiment sigui el més exacte possible, i per normativa, totes les mostres de materials que es van utilitzar a l'assaig van ser condicionades abans en un recinte mantingut a  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura i  $50\% \pm 10\%$  d'humitat relativa fins a l'obtenció d'un pes constant ( $\pm 2\%$ ). D'aquesta manera totes les mostres es troben a la mateixa temperatura i humitat.

### **6.5.3. Equipació necessària per fer l'assaig**

Aquest és l'equip de reacció a foc, basat en la norma UNE 23725 (consultar annexos apartat 4), que vam tenir l'oportunitat d'utilitzar en el *Laboratori del foc* per a estudiar el comportament dels materials davant el foc. Amb aquest equip, s'aplica una font de calor, anomenada radiador, d'una potència nominal de 500w i amb un disc de quars transparent de  $100\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$  com a superfície radiant (norma UNE 23725) a sobre del material que es vol estudiar i en una taula s'apunten els temps en els quals s'inicien les ignicions (apareix la flama), i en els quals es produeix l'extinció (apagament del foc) durant 5 minuts, d'aquesta manera es pot saber quantes vegades s'ha produït una ignició i la duració d'aquestes.

L'equip de reacció a foc, basat el seu funcionament en la norma UNE 23725, està format per les següents parts (figura 22):

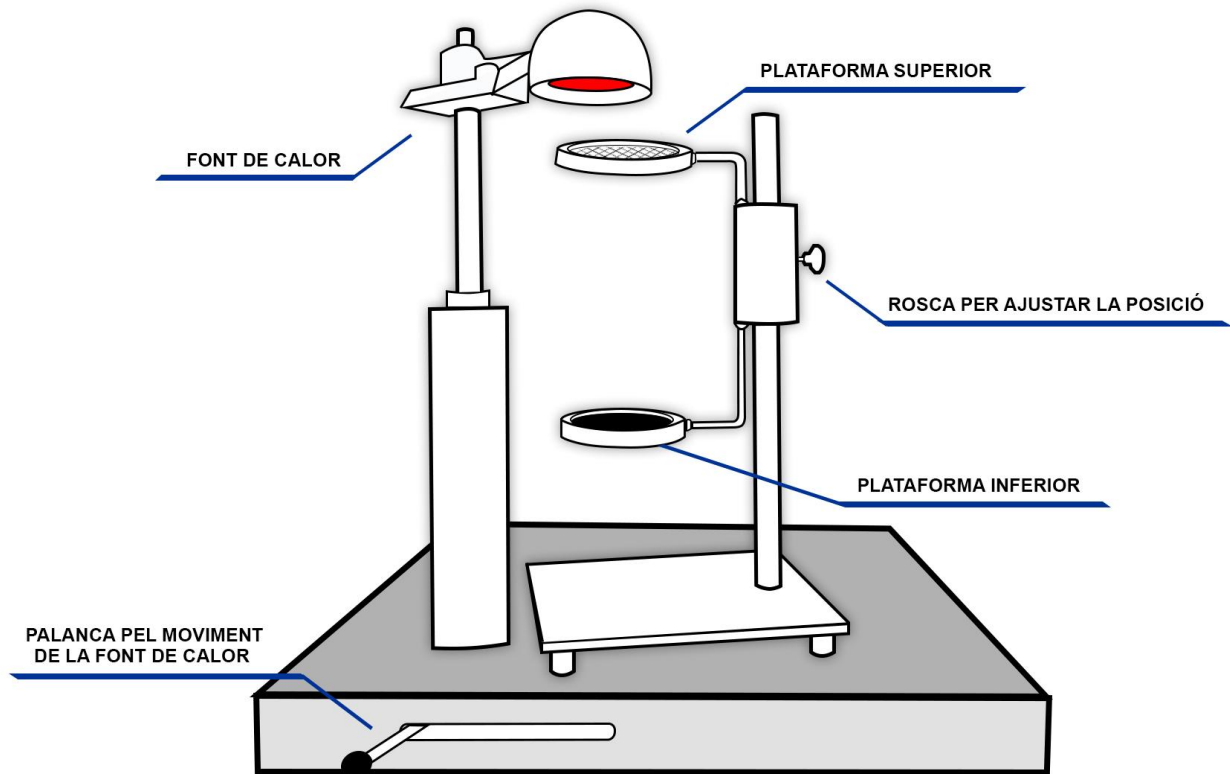


Figura 22: Esbós de l'equip de reacció al foc, basat en la norma UNE 23725.

### En què consisteix l'assaig:

Aquesta prova consisteix a posar la mostra en un aparell (per a saber-ne més sobre l'equipament consultar apartat 6.5.3. Equipació necessària per fer l'assaig) que incorpora dues safates circulars, la primera equipada amb una reixa on es col·loca la mostra del material que es vol analitzar i la segona hi ha cotó fluix per a comprovar si en cremar el material goteja i per tant pot incendiar altres objectes. L'aparell consta d'una palanca per a apropar i allunyar la font de calor.



Figura 23: Imatge de l'equip utilitzat al laboratori del foc.

### Etapa 1: Preparació de les mostres i equip:

1. Preparació de les mostres a estudiar.
2. Dissenyar les taules per apuntar els resultats de l'experimentació (apartat 7.1.).
3. Col·locar un tros de cotó fluix a la plataforma inferior. \*
4. Col·locar una reixa metàl·lica de radi 6,5 cm a la plataforma superior.
5. Moure la palanca perquè la font de calor no estigui a sobre de la plataforma.
6. Endollar l'aparell a l'electricitat.

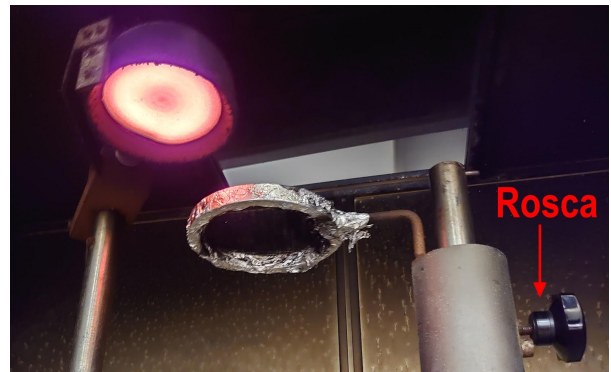
\* El cotó fluix ens servirà per veure clarament si el material de la plataforma superior goteja i per tant incendia aquest cotó, indicant una perillositat de propagació del foc alta.

**Etapa 2: Estudi del comportament dels materials davant el foc.** (Aquesta etapa es repetirà per cadascun dels materials que es vulguin estudiar).

Els passos a seguir en aquesta etapa són els següents:

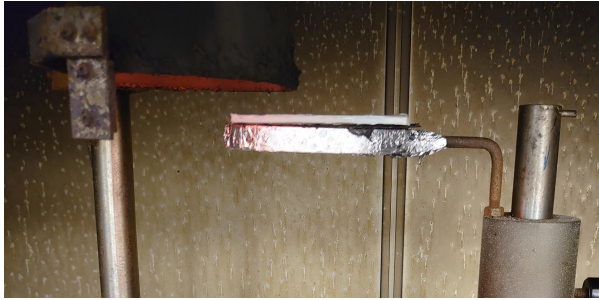
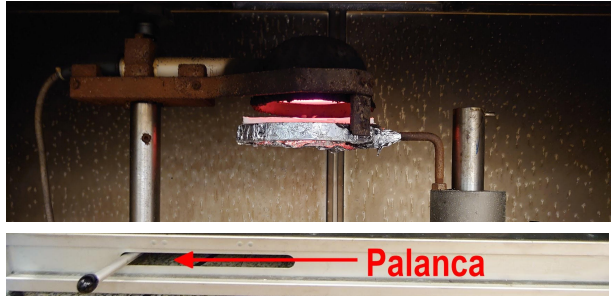





1. Mesurar el gruix del material que es vol estudiar.



2. Ajustar la posició de les plataformes amb la rosca que trobem a la dreta de l'aparell per tal que la font de calor quedi 3 cm per sobre del material perquè la potència radiada sobre aquesta superfície sigui aproximadament de  $3W/cm^2$ .



 <p>3. Col·locar el material que es vol estudiar damunt la reixa metàl·lica de la plataforma superior.</p>	 <p>4. Amb la palanca de la part inferior, girar la font de calor tal que quedi just a sobre de l'objecte i començar a cronometrar immediatament.</p>
 <p>5. Quan comença la ignició del material, anotar el temps que marca el cronòmetre i esperar 3 segons.</p>	 <p>6. Un cop han passat 3 segons de la ignició, retirar la font de calor girant la palanca.</p>
 <p>7. Un cop s'hagi extingit el foc, apuntar a la taula el temps que marca el cronòmetre i immediatament col·locar la font de calor a sobre de la mostra girant la palanca novament.</p>	<p>Repetir els passos 4,5, 6 i 7 durant els següents 5 minuts tal com menciona la normativa UNE 23725.</p>

## 6.6. Simulacions

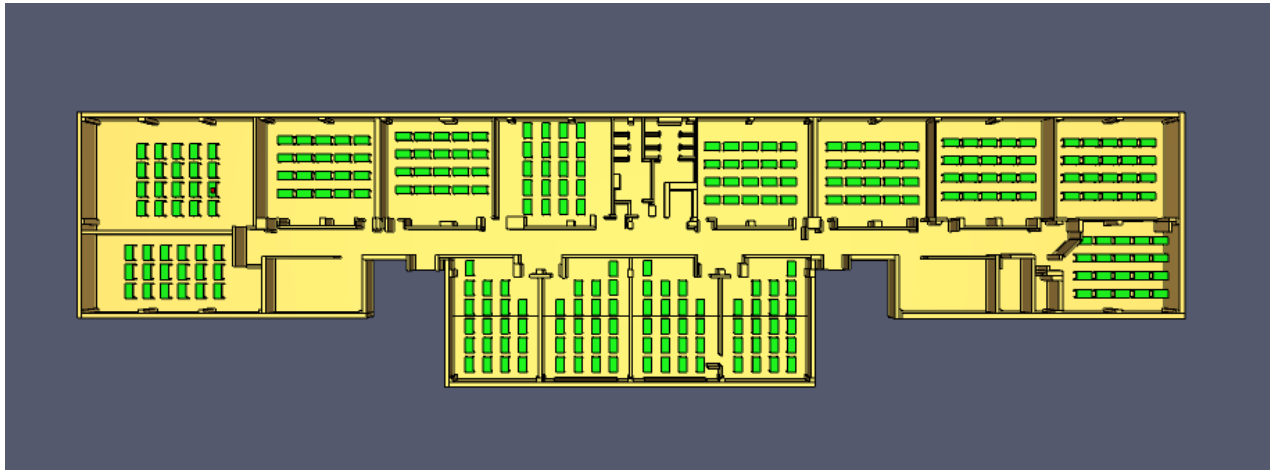
### 6.6.1. Simulacions de la propagació del foc i del fum

Aquesta simulació es va realitzar amb el programa "PyroSim". Mitjançant aquest programa podem fer un estudi exhaustiu de la propagació del foc i del fum establint diferents paràmetres amb els quals treballa el programa. Aquest programa té un funcionament complex, ja que els càlculs necessaris per estudiar de manera acurada la propagació, requereixen fer la simulació amb el màxim de realisme possible; és a dir, introduint el màxim de paràmetres possibles perquè la simulació s'assembli el màxim possible a la realitat. Alguns dels paràmetres que s'han de tenir en compte són la composició dels materials; és a dir, no cremarà igual la fusta que el metall; les condicions atmosfèriques, alguns factors com la pressió atmosfèrica, la temperatura i la humitat també són rellevants perquè afectaran a la durada del foc; la quantitat d'oxigen i CO<sub>2</sub> que trobem a l'aire, ja que aquests poden afectar a la combustió.

La simulació del "PyroSim" l'hem dividit per plantes a causa de la complexitat dels càlculs que ha de realitzar el programa. El procediment per a configurar cadascuna de les plantes ha sigut el mateix. Aquestes simulacions s'han realitzat principalment amb l'objectiu d'estudiar la propagació del fum.

Primerament vam importar al programa "PyroSim" el disseny en 2D de cadascuna de les plantes des del programa "Sketchup". Una vegada en el programa, vam haver d'identificar els objectes importats com a obstruccions; és a dir, objectes que no interactuaran amb el foc i impediran que aquest passi. Les obstruccions és un dels objectes més importants, ja que suposen l'estructura bàsica de l'edifici. A partir del 2D vam començar a col·locar les parets de l'edifici, exteriors i interiors.

Una vegada l'estructura de l'edifici estava feta vam procedir a dissenyar amb el programa les taules situades a l'interior de l'edifici (figura 24). Com el màxim d'alumnes que poden haver-hi en una aula són de 20 alumnes (segons la normativa actual), vam col·locar el mateix nombre de taules.



*Figura 24: Vista superior de la primera planta amb 20 taules en cada aula.*

Seguidament vam procedir a designar el tipus de material del qual estan fets tots els objectes situats a la simulació. Els 3 materials que hem configurat per a l'edifici han estat superfícies inertes, que no els afecta el foc, aquestes les hem posat a materials com les parets i els sostres, ja que hem suposat que no s'arriben a cremar; el material causant del foc, que és aquell en el que s'inicia el foc; i la fusta de les taules que és el material en què es fixa aquesta simulació per a veure la propagació del fum. En la finestra de configuració, figura 25, establím tots els paràmetres.

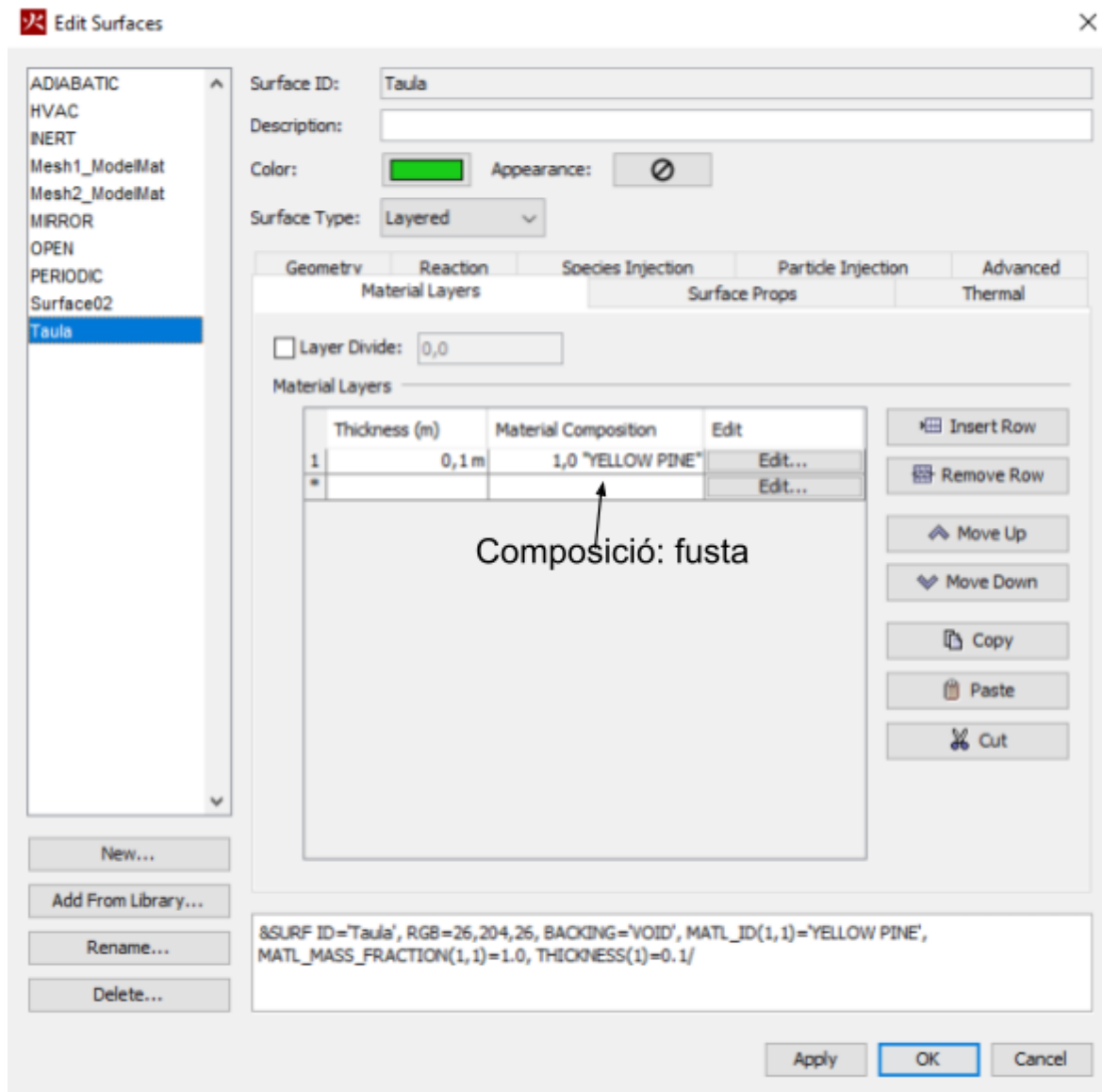


Figura 25: Quadre de configuració dels materials de l'edifici, en aquest cas en concret de la fusta de la qual estan fetes les taules.

En les aules en les quals es genera el foc vam afegir una superfície plana i un espai en 3D, figura 26, encarregats de mesurar la temperatura en tot moment durant la simulació. És important saber-ho per veure en quines zones de l'espai s'acumula la calor i evitar posar elements fàcilment inflamables en aquella zona. Això ho vam fer una vegada ja vam decidir on s'origina el foc. Les diferents temperatures es mostren en diferents colors a la superfície (figura 27).

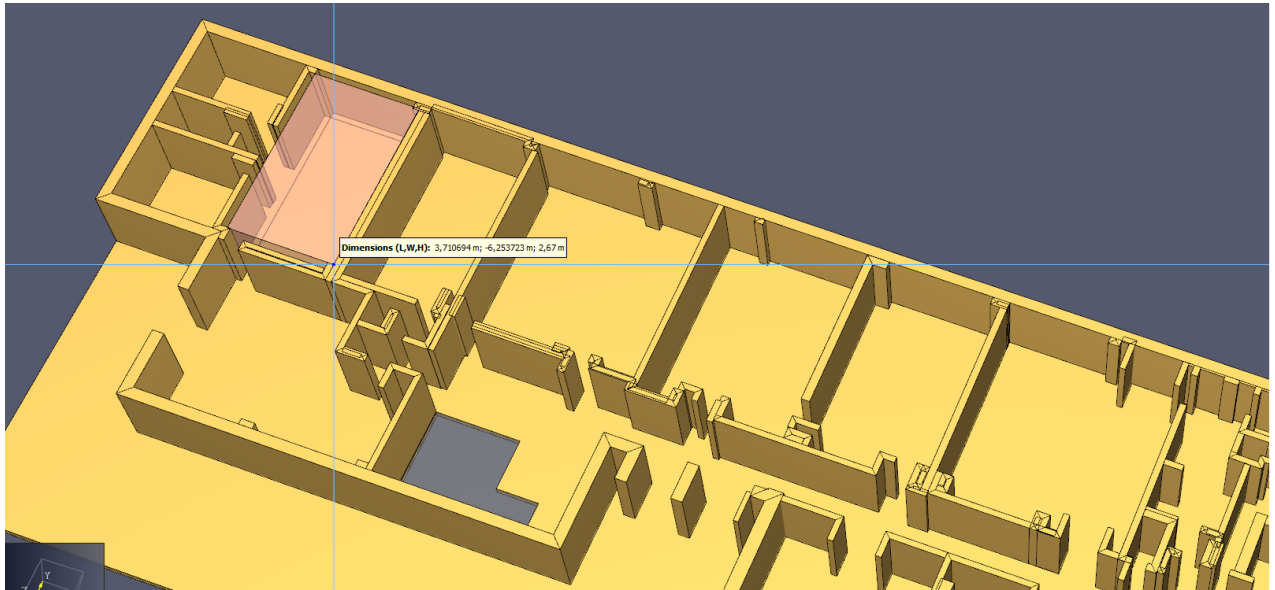


Figura 26: Espai en 3D encarregat de mesurar la temperatura.

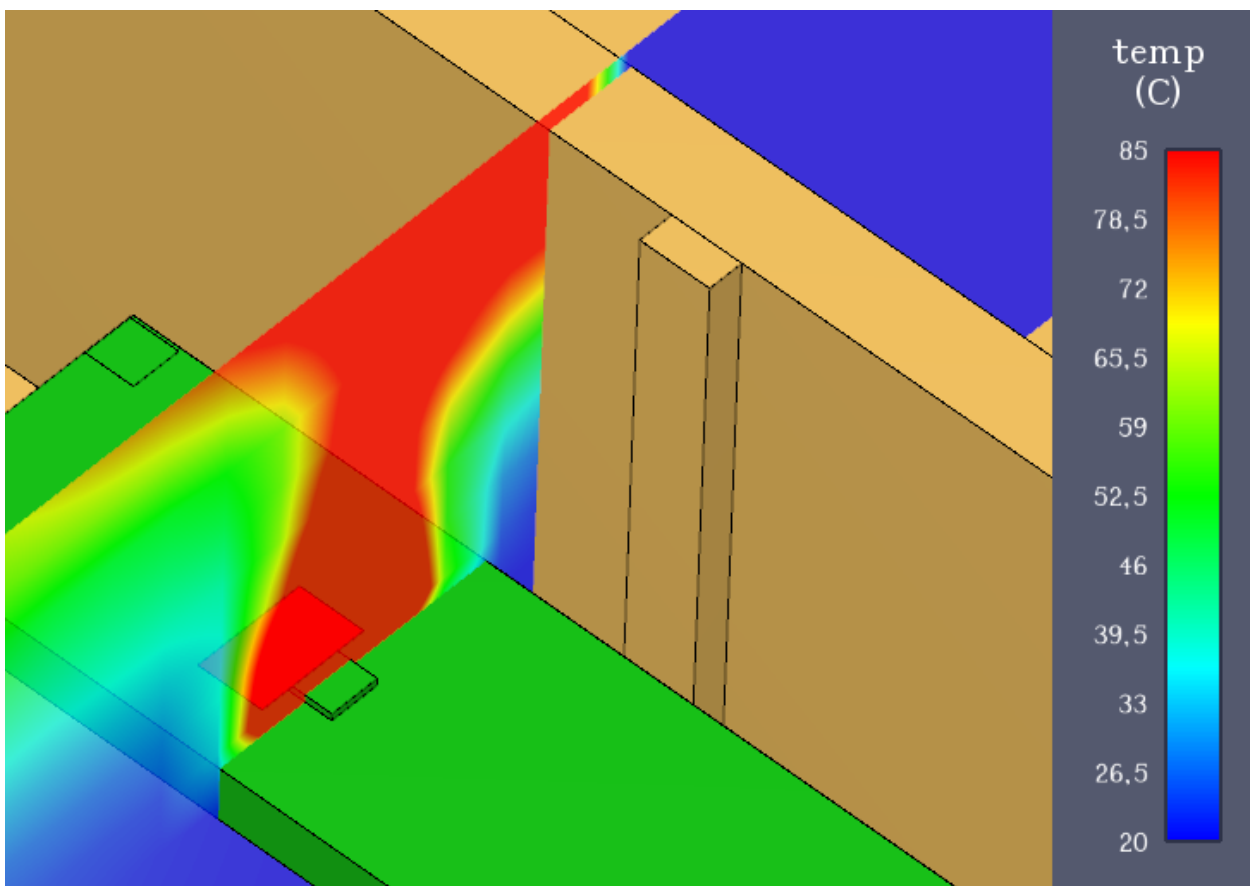


Figura 27: Exemple de la superfície encarregada de mesurar la temperatura durant l'incendi en una escala de color sent el vermell la temperatura més alta i blau la més baixa. El vermell s'acumula al sostre perquè la calor tendeix a pujar.

Finalment vam configurar la reacció que es produeix a la simulació; és a dir, l'equació de la combustió. En aquest cas hem configurat la simulació perquè la reacció es produeixi amb fusta, ja que és un dels materials més abundants a l'edifici i per això és més probable que el foc es produeixi en aquest material. Totes les simulacions les hem configurat amb una duració de 300 segons, vam decidir aquest temps, ja que en les simulacions del "Pathfinder" és el temps en el qual justament queden els últims ocupants per sortir de l'edifici. Els càlculs es realitzen de nou cada 0,25s de simulació, és el temps recomanat pel programa, ja que si hi ha massa diferència de temps entre càlculs, la simulació és més inexacta, i posar més temps suposa més temps en compilar la simulació.

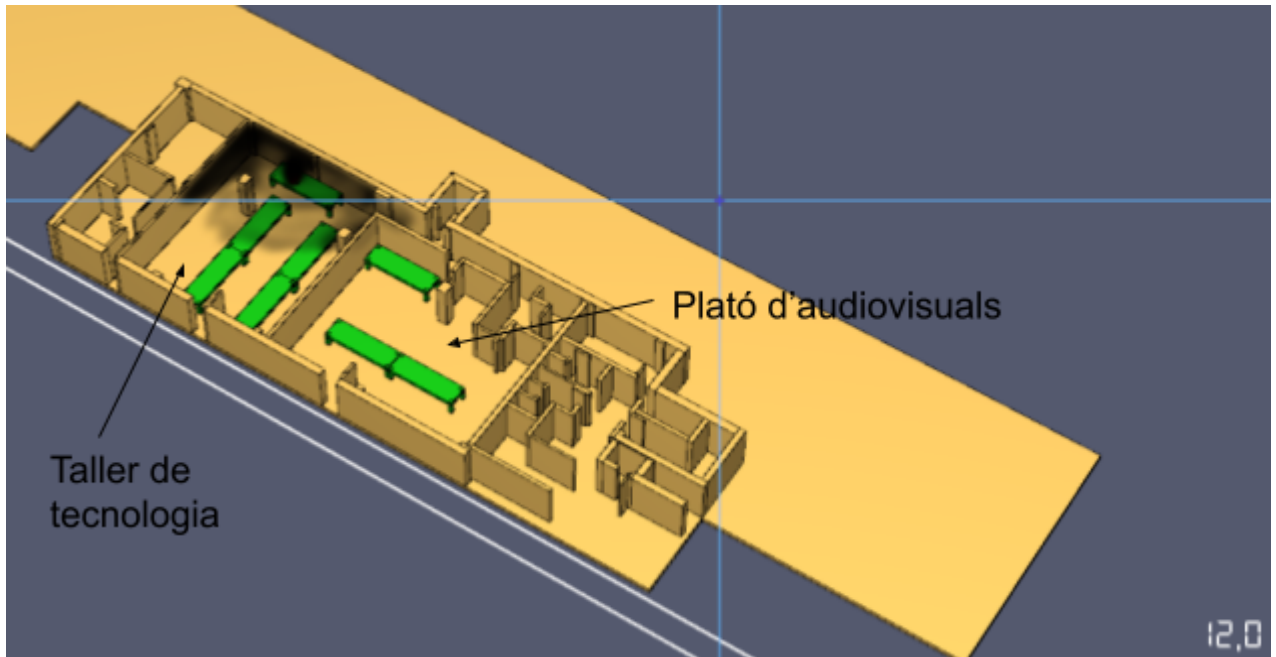
### **Simulacions de la planta 0**

Hem realitzat 3 casos de simulacions per a valorar diferents possibilitats d'incendi en aquesta planta.

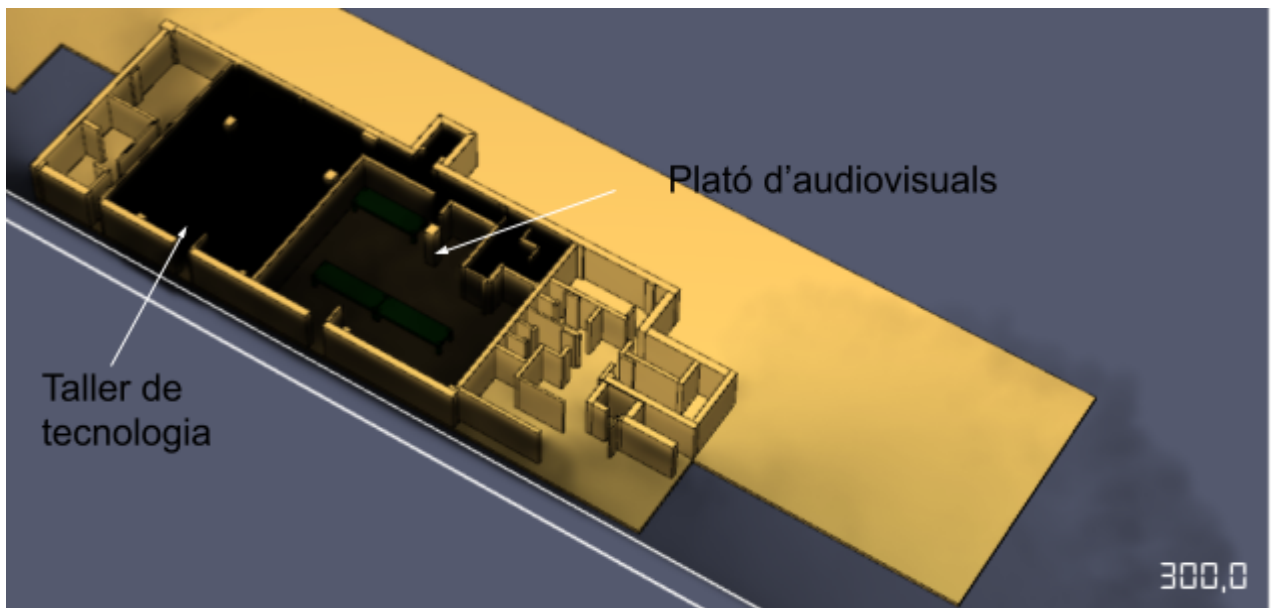
#### 1r cas: Incendi al taller de tecnologia

En el primer cas suposem que el foc s'origina al taller de tecnologia que es troba a la planta 0. Aquest seria un dels llocs més probables on podria originar un foc a causa del material que s'utilitza en aquesta aula, com per exemple soldadors i serres elèctriques que poden fer saltar alguna espurna i fusta que és un material que es crema amb molta facilitat.

Les condicions en les quals es troba l'edifici en aquesta simulació és a una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 HPa de pressió atmosfèrica. Aquestes són les condicions que utilitza el programa per defecte. Aquestes condicions poden afectar el punt d'ignició; és a dir, les condicions de temperatura, pressió i humitat que s'han de donar perquè comenci el foc. Una humitat més alta evita una propagació més ràpida del foc, una temperatura baixa fa que sigui més difícil que s'origini i es propagui el foc, i per últim, la pressió és la pressió estàndard 1013HPa o 1atm.

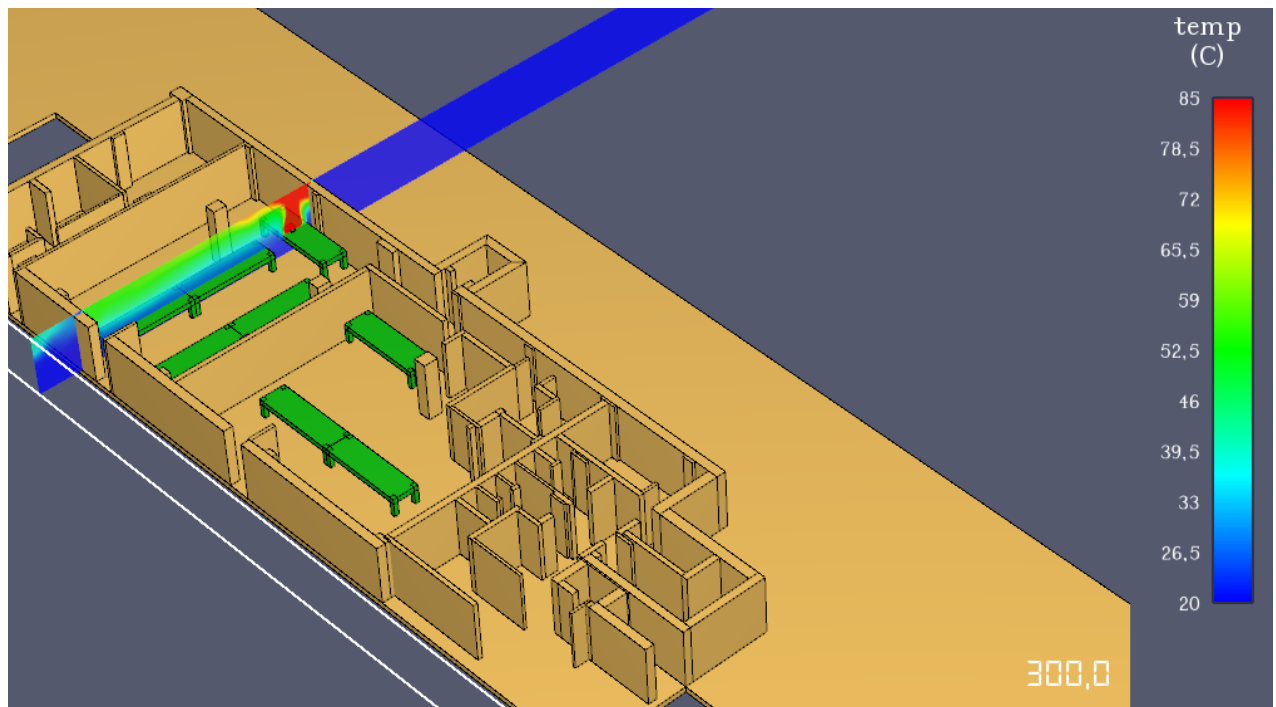


*Figura 28: Vista de la planta subterrània passats, per exemple, 12 segons d'ençà que s'ocasiona el foc.*



*Figura 29: Vista de la planta subterrània passats 300 segons des de l'inici del foc.*





*Figura 30: Vista de la temperatura de l'habitació passats 300s des que s'origina l'incendi.*

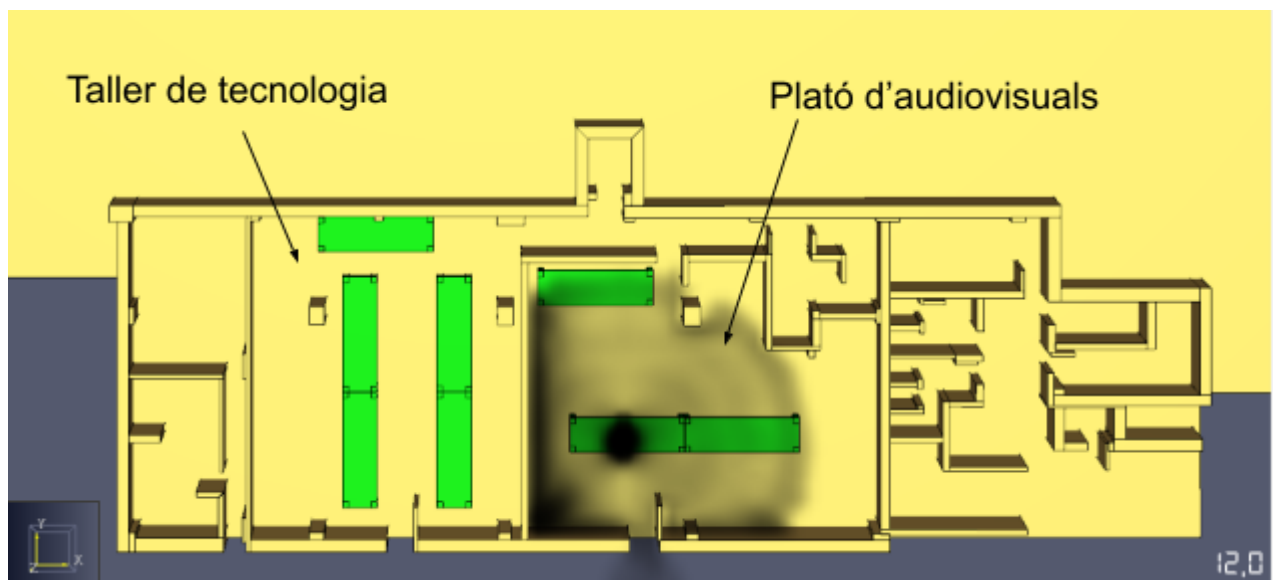
Les conclusions que podem obtenir d'aquesta simulació és que el fum es distribueix ràpidament per l'aula de tecnologia (figura 28) i posteriorment per la resta d'espais (figura 29). El fum se situa principalment en la part superior de l'aula, ja que el fum té aquesta tendència a pujar, però la meitat inferior triga més a omplir-se de fum, ja que les portes estan obertes i és per on el fum va sortint. A més també podem observar que la part baixa de l'aula es manté a una temperatura constant de 20°C, ja que igual que el fum la calor tendeix a pujar. Aquesta és a la que es trobava inicialment, això es veu representat de color blau i la temperatura més alta a 85°C representada pel color vermell en la figura 30.



## 2n cas: Incendi al Plató d'audiovisuals

En el segon cas, l'incendi s'origina al plató d'audiovisuals situat al costat de l'aula de tecnologia. En aquesta aula és més difícil que s'origini un foc en comparació amb l'aula de tecnologia, ja que no s'utilitzen materials tan fàcilment inflamables com les fustes o els soldadors.

Les condicions ambientals a les quals es troba l'edifici són les mateixes que en el cas anterior; és a dir, les condicions estàndard del programa. A una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 hPa de pressió atmosfèrica.



*Figura 31: vista superior de l'incendi originat al plató d'audiovisuals a la planta subterrània 12 segons després de l'inici d'aquest.*

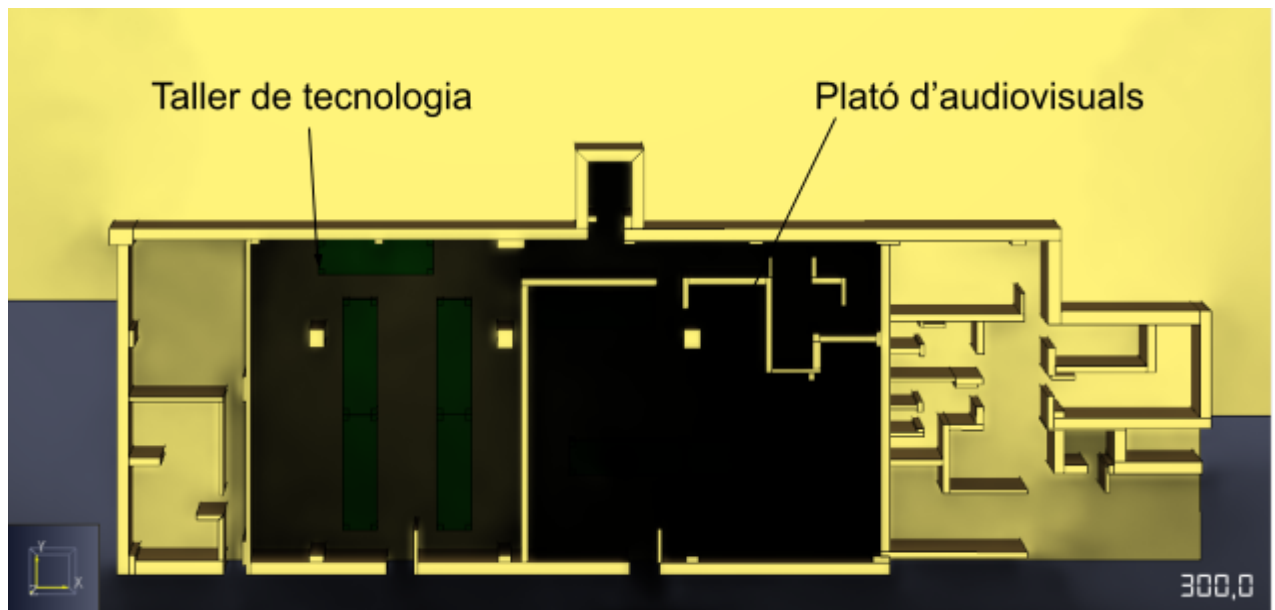


Figura 32: Vista superior de la planta subterrània 300 segons després de l'inici del foc.

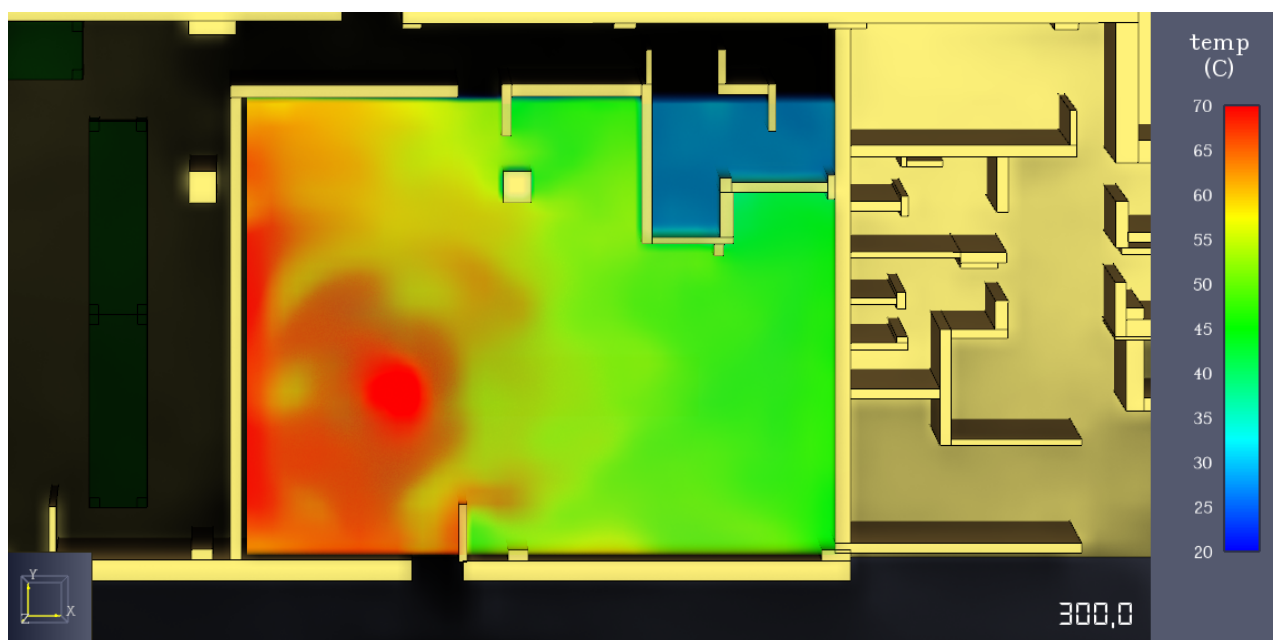


Figura 33: Vista superior de la temperatura a l'aula d'audiovisuals 300 segons després de l'inici del foc. En color blau fosc la temperatura és la més baixa, de 20°C, en vermell la més alta, de 70°C, i en verd i groc entre 40°C i 60°C. La calor s'acumula en la part esquerra perquè com la porta està oberta part del fum i de l'escalfor s'escapa.

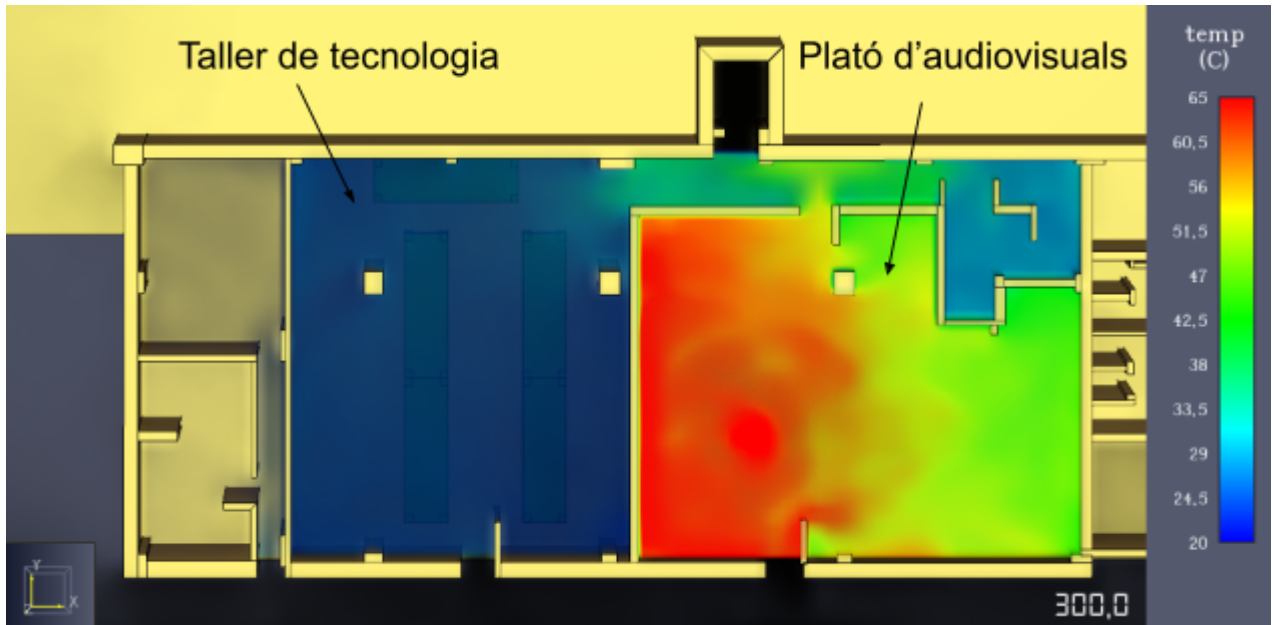


Figura 34: Imatge de la temperatura en les aules de tecnologia i audiovisuals. El color blau representa les temperatures més baixes, al voltant de 20°C, el vermell les temperatures més altes a 65°C

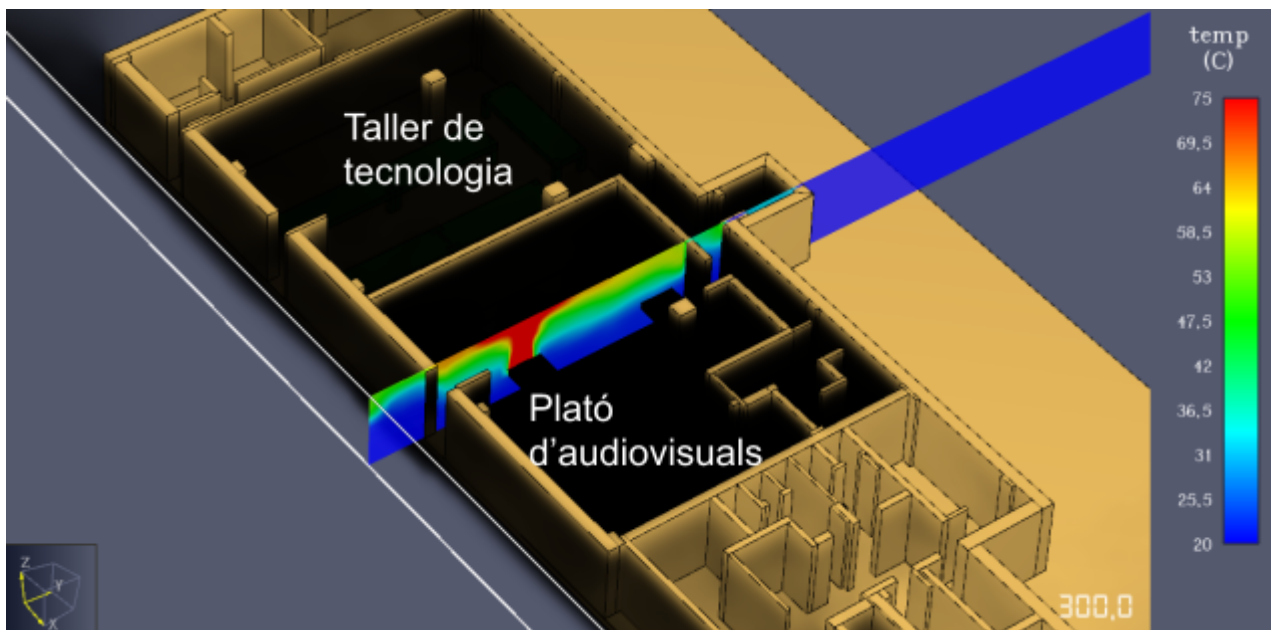


Figura 35: Temperatura a la secció on s'origina el foc 300 segons després de l'incendi. El color blau representa la secció en la qual la temperatura es manté a 20°C i la temperatura més alta, 75°C, està representada en vermell. Arriba fins a aquesta temperatura perquè s'està cremant molta fusta, hi ha molt combustible.

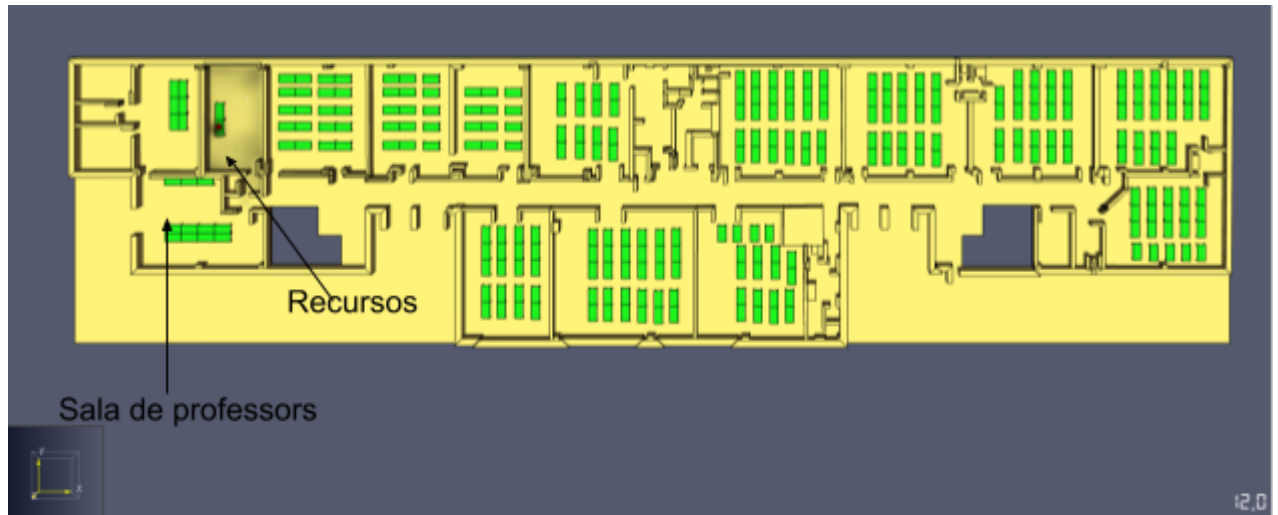
L'aula d'audiovisuals conté materials i aparells electrònics de l'àmbit audiovisual com per exemple càmeres de televisió i de fotografia, focus de llum i una televisió. En aquesta simulació podem observar que tot i que el fum s'acumula en les aules de tecnologia i audiovisuals, com es pot veure en les figures 31 i 32; la temperatura de l'aula de tecnologia gairebé no puja, com es pot veure en la figura 33 en la que gairebé tota l'aula es manté a 20°C. A més la temperatura de l'aula d'audiovisuals puja principalment en la part esquerra, tot i que la temperatura de la part dreta és considerablement alta com es pot veure en les figures 34 i 35.

## **Simulacions planta 1**

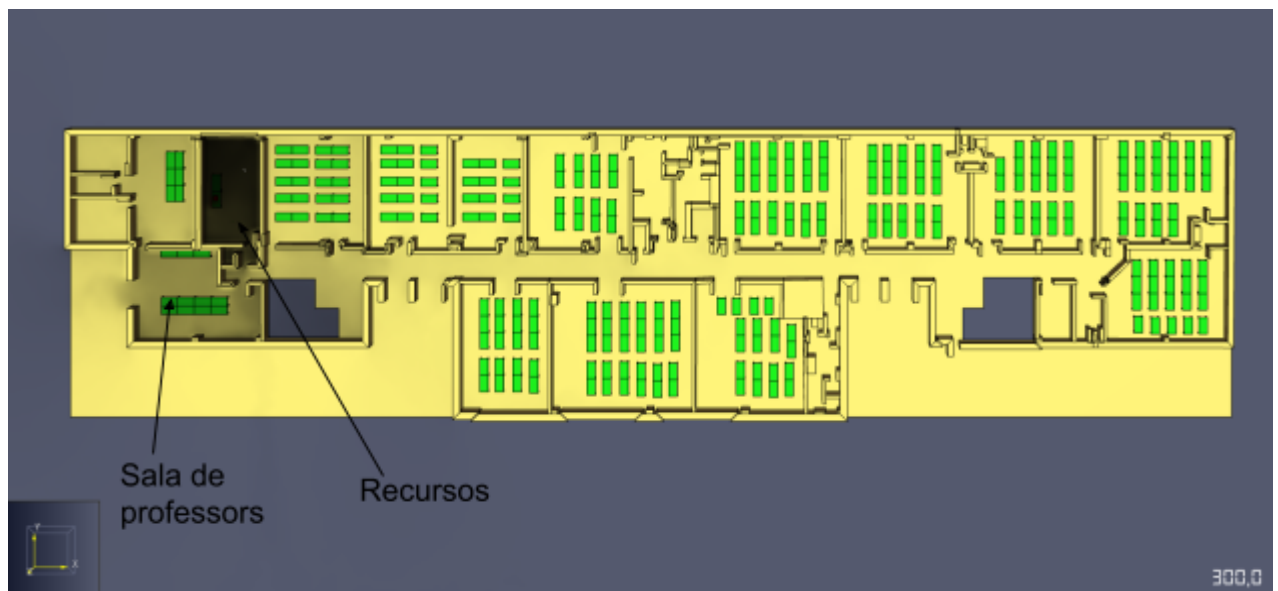
Cas: Espai recursos

En la primera simulació d'incendi de la planta baixa, l'incendi s'origina en l'espai de recursos (figura 36 i 37). La probabilitat que es generi un incendi en aquesta planta és més baixa que en la planta 0 (a causa dels tipus de materials que s'utilitzen a la planta 0 com per exemple soldadors i serres) però de totes maneres no és impossible. Hem suposat que l'incendi s'ha produït en un dels ordinadors situats a sobre d'una de les taules que es troben en aquest espai, per exemple per un curtcircuit.

Les condicions atmosfèriques que hem configurat en aquesta simulació han estat les estàndard del programa. A una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 hPa de pressió atmosfèrica.



*Figura 36: Vista superior de la planta baixa passats 12 segons des de l'inici de l'incendi. Es veu com el fum de moment només s'ha propagat per l'espai de recursos.*



*Figura 37: Vista superior de l'edifici 300 segons després de l'inici del foc. Es veu que el fum s'ha estès per l'espai de recursos i part de la sala de professors.*

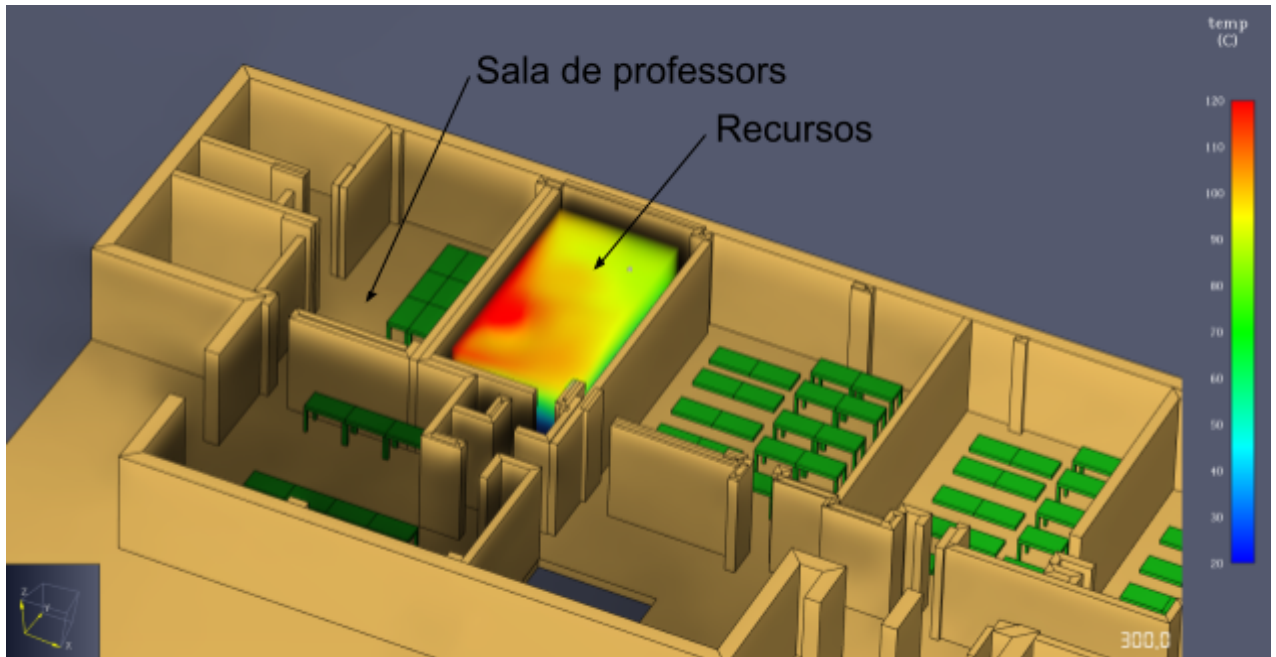
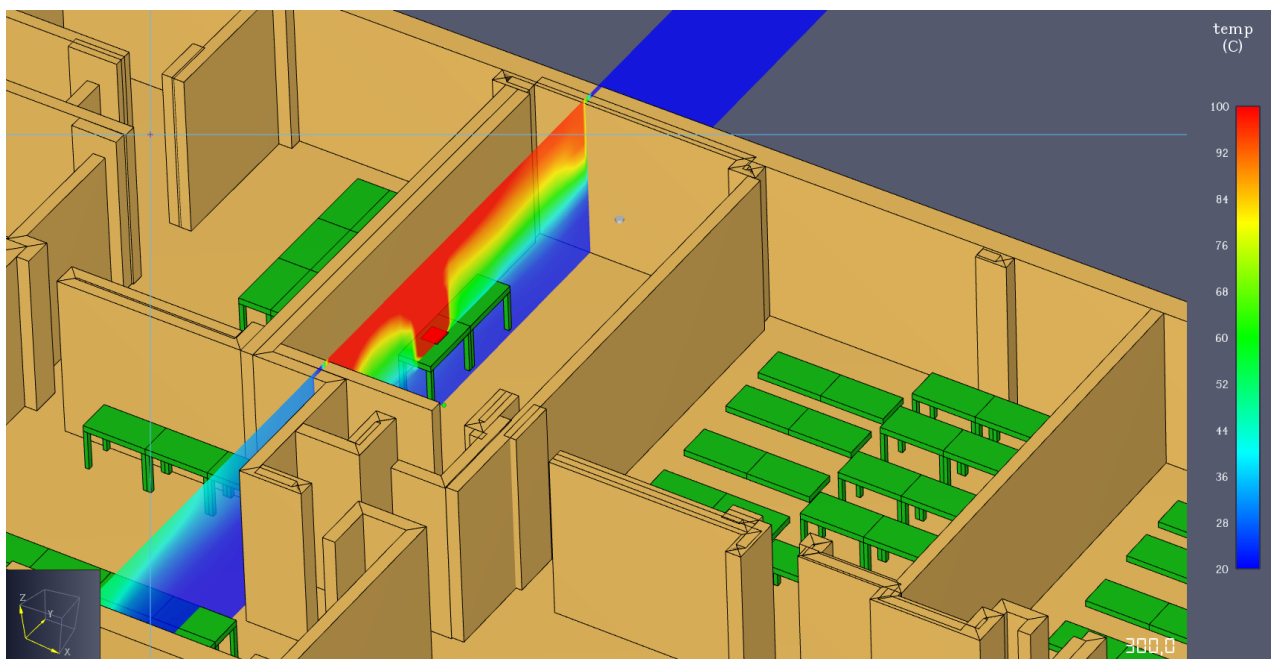
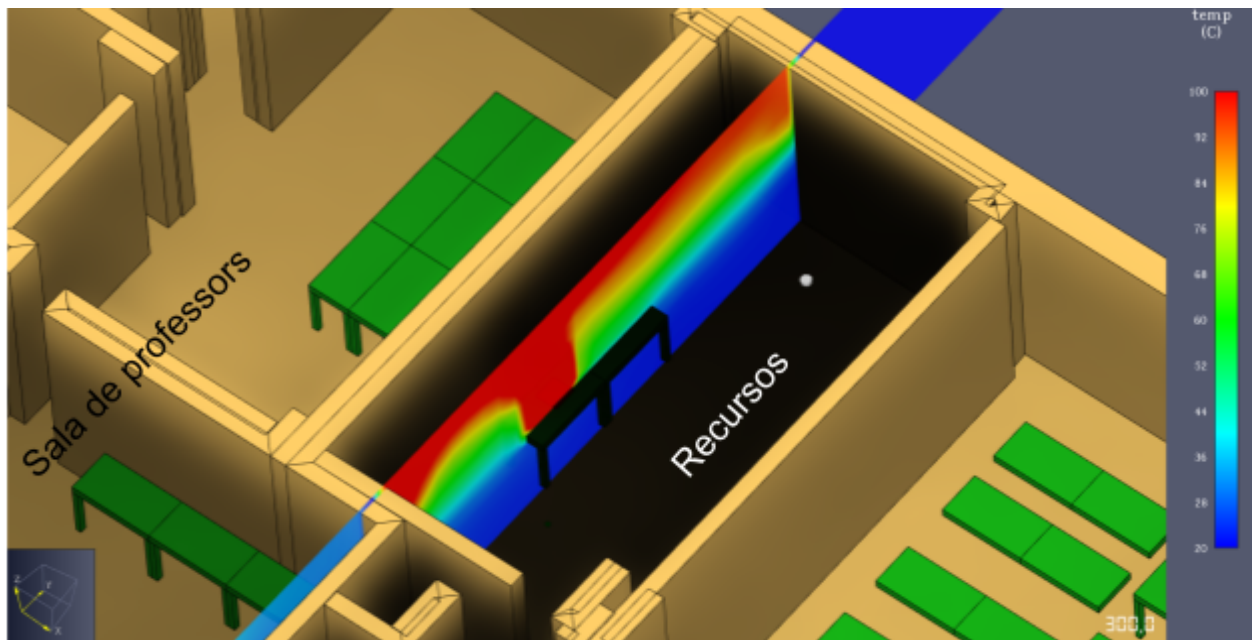


Figura 38: Vista de la temperatura dintre de l'espai de recursos en 3D 300s després de l'inici del foc. En vermell estan les zones més calentes fins a 120°C i en blau les zones on no varia la temperatura inicial de 20°C.





*Figures 39 i 40: Vista de la temperatura en la secció on s'origina el foc 300 segons després de l'inici del foc amb fum (en color negre) i sense.*

En aquesta simulació podem observar que si hi hagués un incendi en la zona de recursos situada a la part esquerra de l'edifici, en aquest espai se subministren alguns materials necessaris per a fer les classes com per exemple fotocòpies, retoladors, grapes... El fum es contindria principalment en el lloc on s'origina el foc (figures 39 i 40), ja que no hi ha moltes portes o finestres per on pugui escapar. El fum trigaria a passar a la resta d'espais i això ajudaria a l'evacuació de l'edifici (figures 36 i 37). A més podem observar que tot i que el fum és molt dens, com es veu en les figures 39 i 40, en tota l'habitació la temperatura no puja a la part inferior d'aquesta com es veu en la figura 38 representada en color blau la temperatura inicial de l'habitació a 20°C, això passa perquè com la calor puja en la part inferior de l'habitació es manté la temperatura.



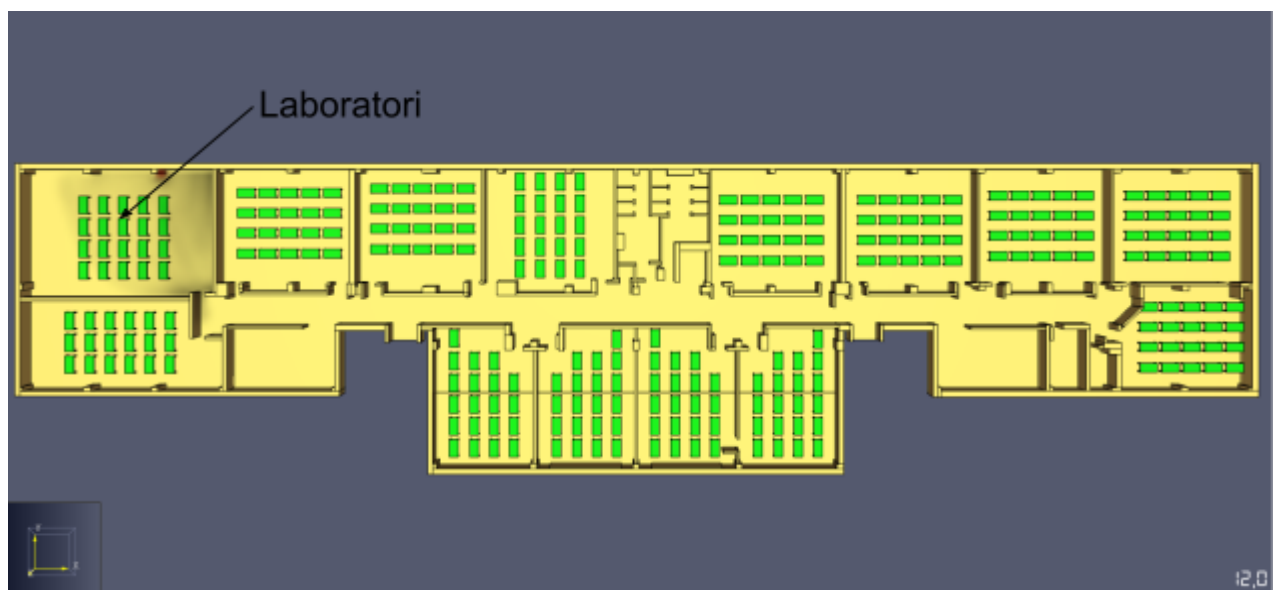
## Simulacions planta 2

Farem dos casos d'aquesta planta per comparar la propagació del fum en el cas que el foc s'originés en llocs diferents.

### 1r cas: Aula laboratorï

En aquesta simulació hem suposat que s'origina un foc elèctric a l'aula laboratorï. Aquest tipus de foc suposa que s'ha d'utilitzar un extintor de tipus BC (de diòxid de carboni) o ABC (pols químic) explicat en els annexos a l'apartat 1.3. Aquesta aula es troba a la primera planta de l'edifici. En ser un foc elèctric, que es pot originar per un curtcircuit, aquest s'origina a la part alta de la paret, ja que és allà on es troba el cablejat elèctric dins de les aules.

Les condicions atmosfèriques de l'edifici són les estàndard. A una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 hPa de pressió atmosfèrica.



*Figura 41: Vista superior de la primera planta passats 12 segons des que s'origina el foc. Es veu que el fum encara està molt dispers.*



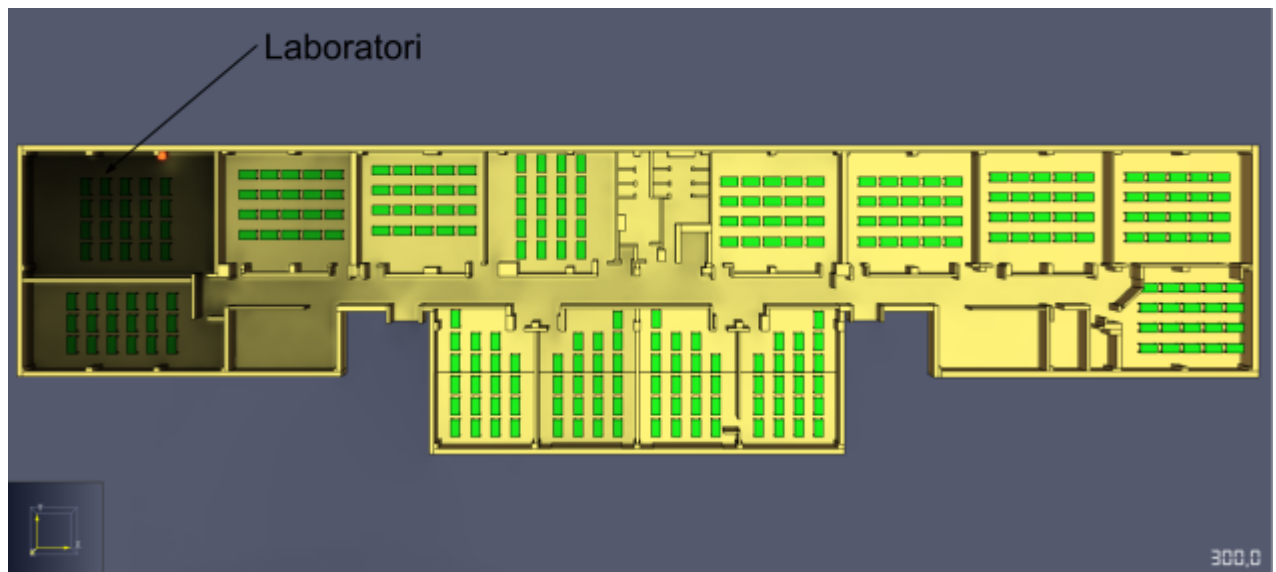


Figura 42: Vista de la planta 2 passats 300 segons des que comença el foc.

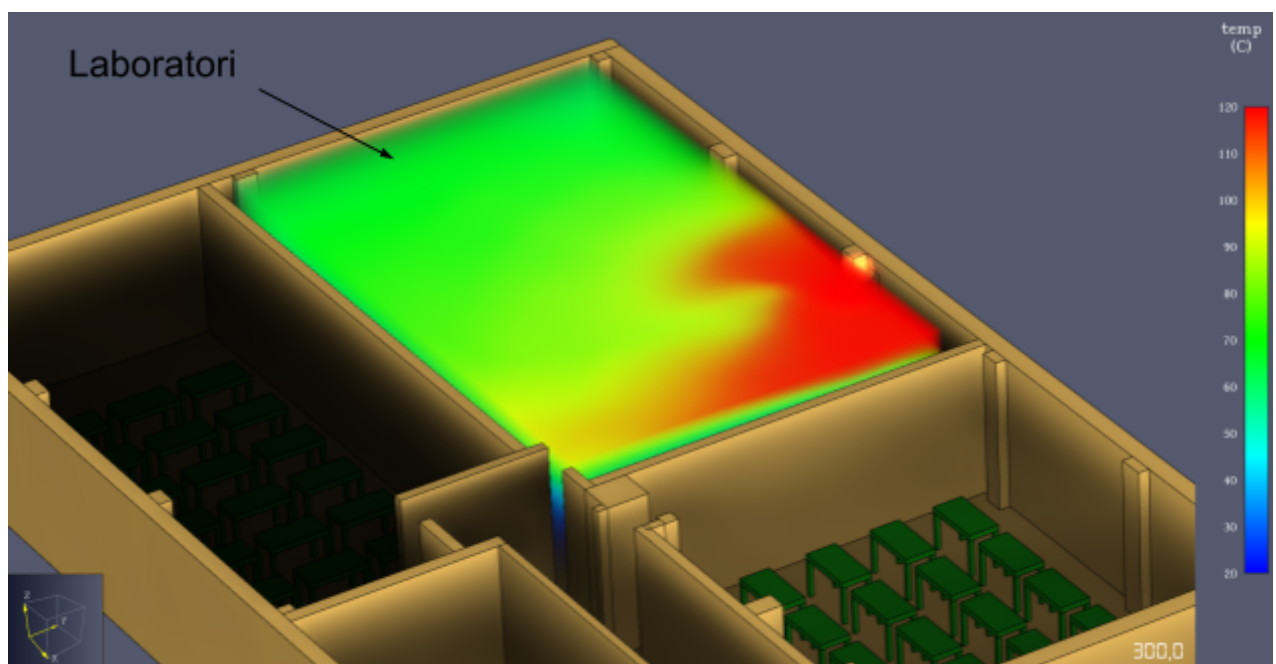
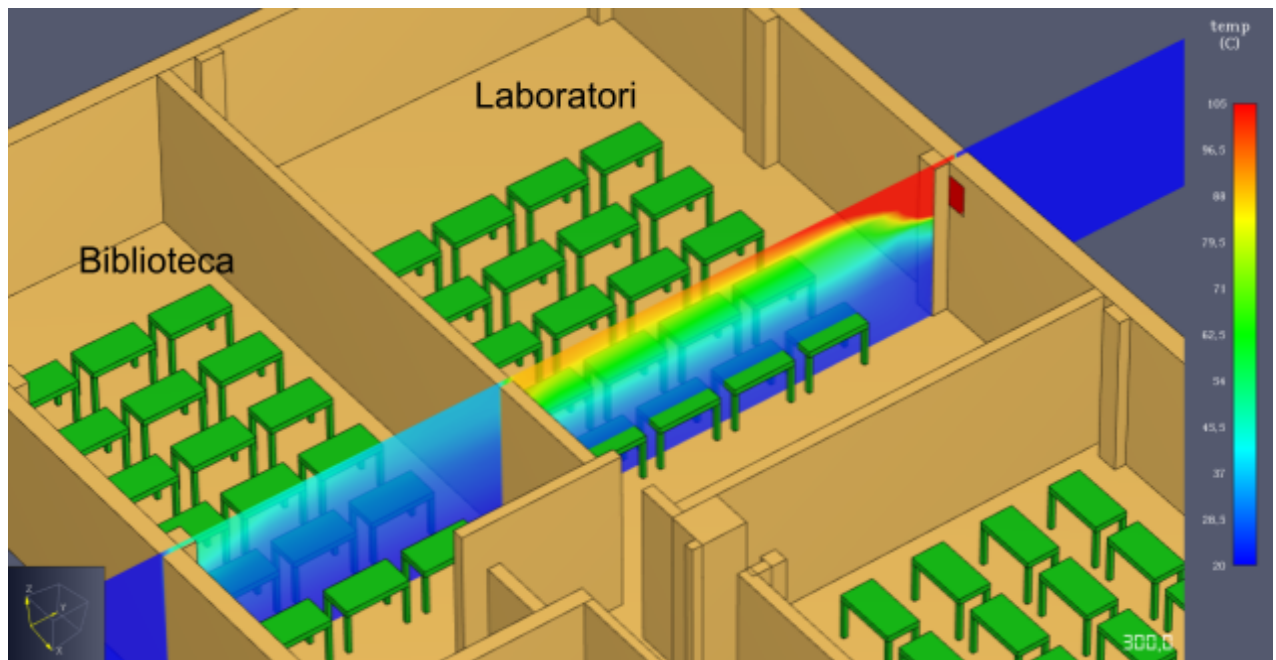


Figura 43: Vista de l'àrea que mesura la temperatura en l'aula en la qual s'origina el foc. El color vermell indica la temperatura més alta, a 120°C, en verd una temperatura de 70°C, i en blau la temperatura mínima de 20°C.



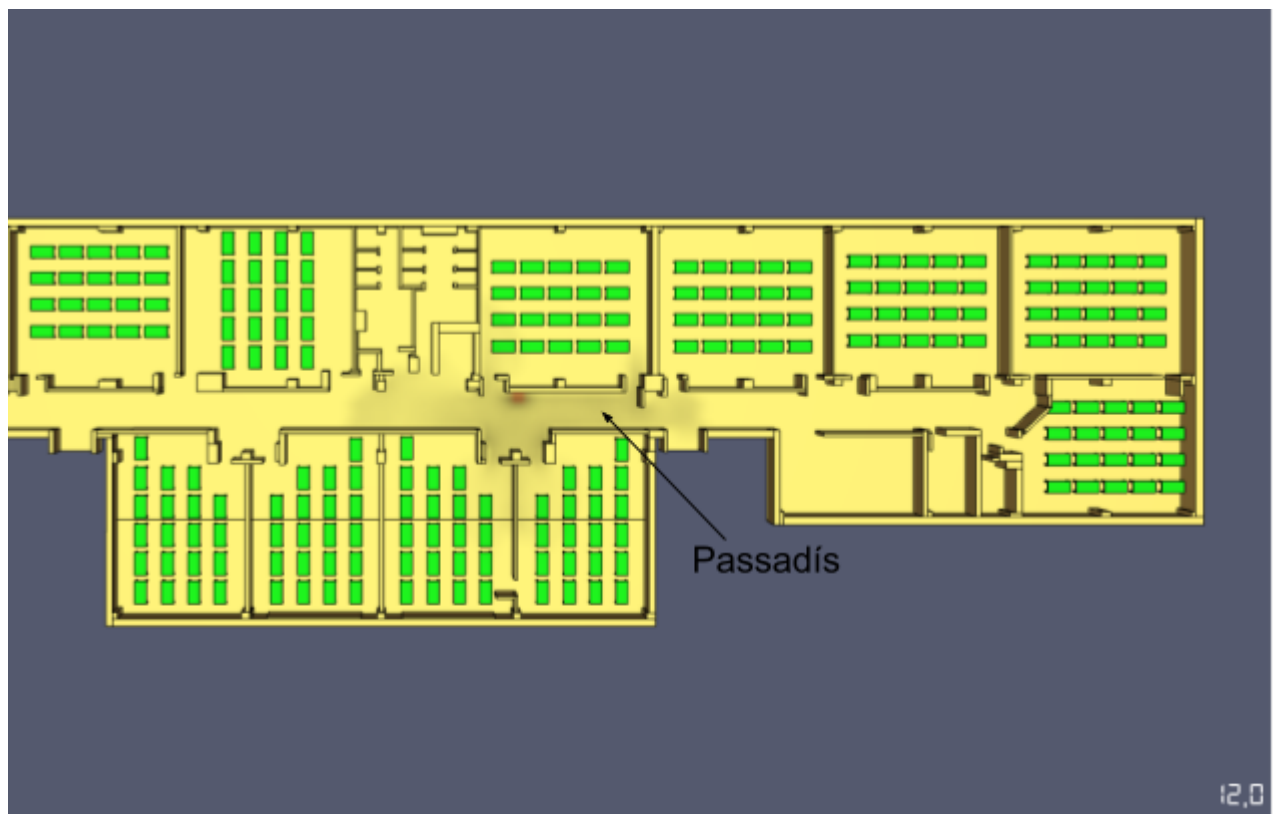
*Figura 44: superfície on es veu la temperatura a la qual es troben el laboratori i la biblioteca 300s després de l'inici del foc.*

En aquesta simulació podem observar que la majoria del fum es manté en el laboratori i en la biblioteca que es troba just al costat del laboratori, figures 41 i 42. També podem observar en les figures 43 i 44 que la temperatura en la part inferior de l'aula la temperatura es manté sempre constant, a 20°C, representada en color blau. Com a les altres simulacions observem que el fum es manté sempre a la part superior dels espais que ocupa. Això passa perquè tant la calor com el fum tendeixen a pujar.

## 2n cas: Passadís planta 2

En la segona simulació de la planta 2 l'incendi s'origina al passadís. L'incendi comença a la paret exterior, en la part superior en la qual està el cablejat elèctric, de l'aula de la dreta dels lavabos. La principal diferència entre un foc que s'origina dins d'una aula i un que comença al passadís és que en aquest últim trobem menys objectes que puguin ajudar a la propagació del foc com taules i prestatgeries, en aquest cas l'únic que es cremaria seria el cablejat, i algun suro i cartolines.

Les condicions ambientals en les quals s'ha realitzat aquesta simulació són les predeterminades pel programa. A una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 HPa de pressió atmosfèrica.



*Figura 45: Vista superior de la primera planta 12 segons després de l'inici del foc al passadís. Com l'espai és molt gran el fum és gairebé imperceptible.*

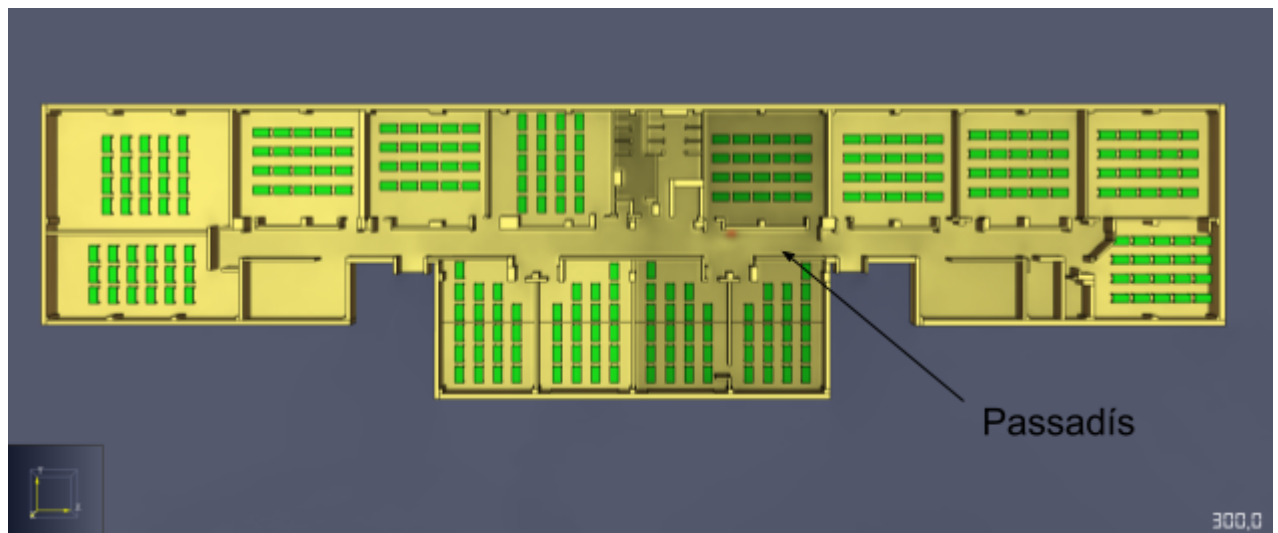


Figura 46: Vista superior de la primera planta 300 segons després que s'origini el foc. Es veu com el fum s'estén pel passadís i les aules, que estan amb les portes obertes, de les zones més properes a l'inici del foc.

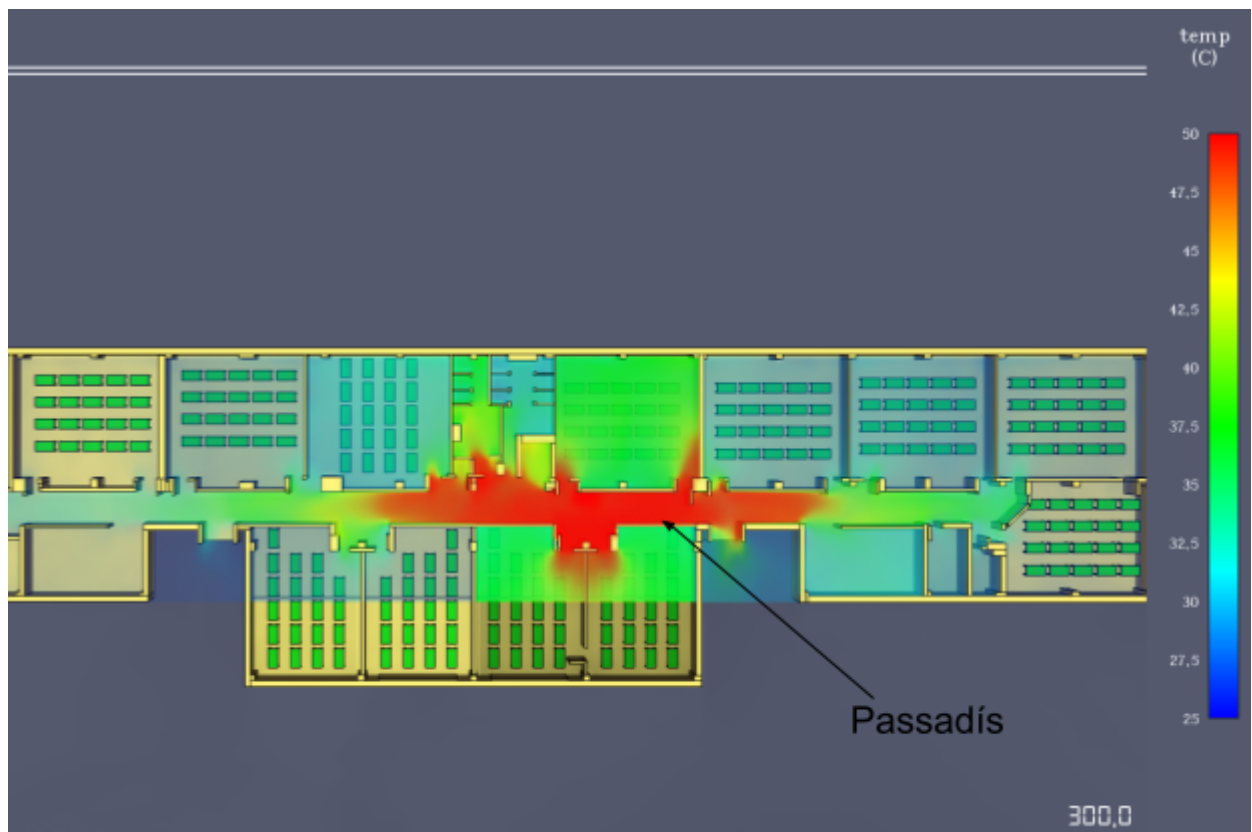


Figura 47: Vista superior de la primera planta. Està representada la temperatura de cada espai en 3D. Es veu com la temperatura més alta és de 50°C i la més baixa de 25°C.

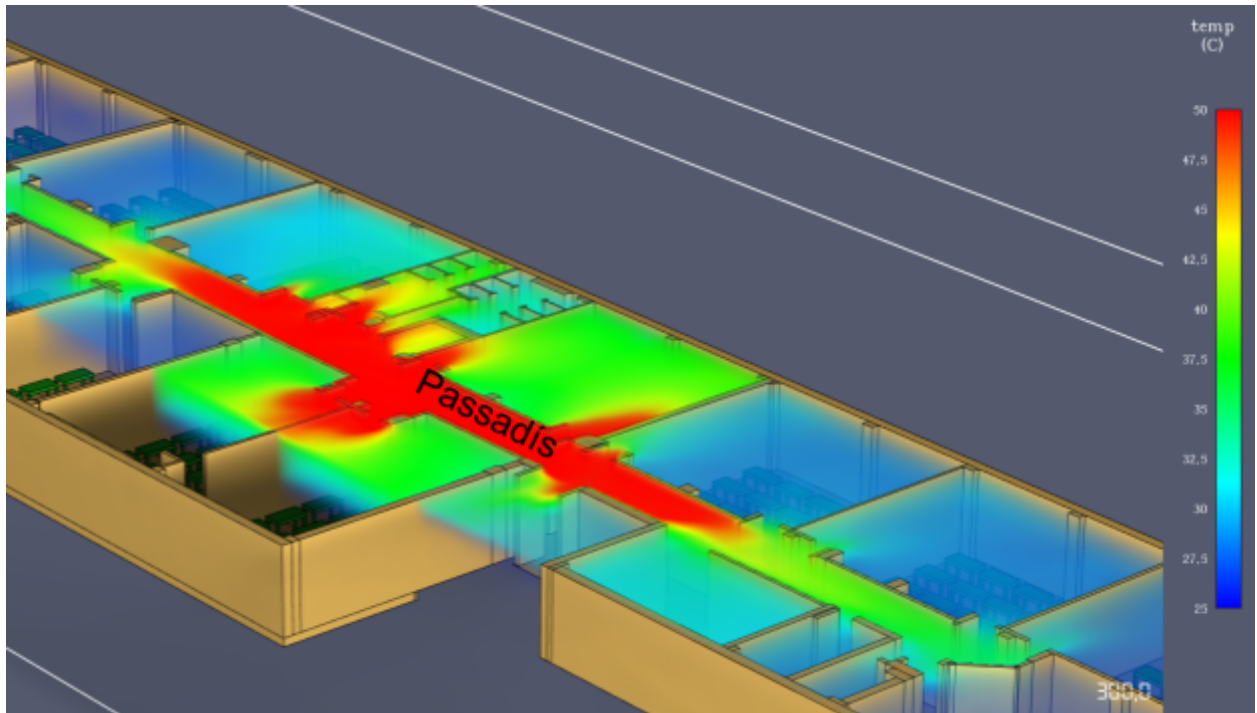


Figura 48: Temperatura de la planta, en vermell és la temperatura a 50°C, en verd d'aproximadament uns 37,5°C, i en blau la temperatura de 25°C. Es veu una temperatura més alta a la zona de generació del foc.

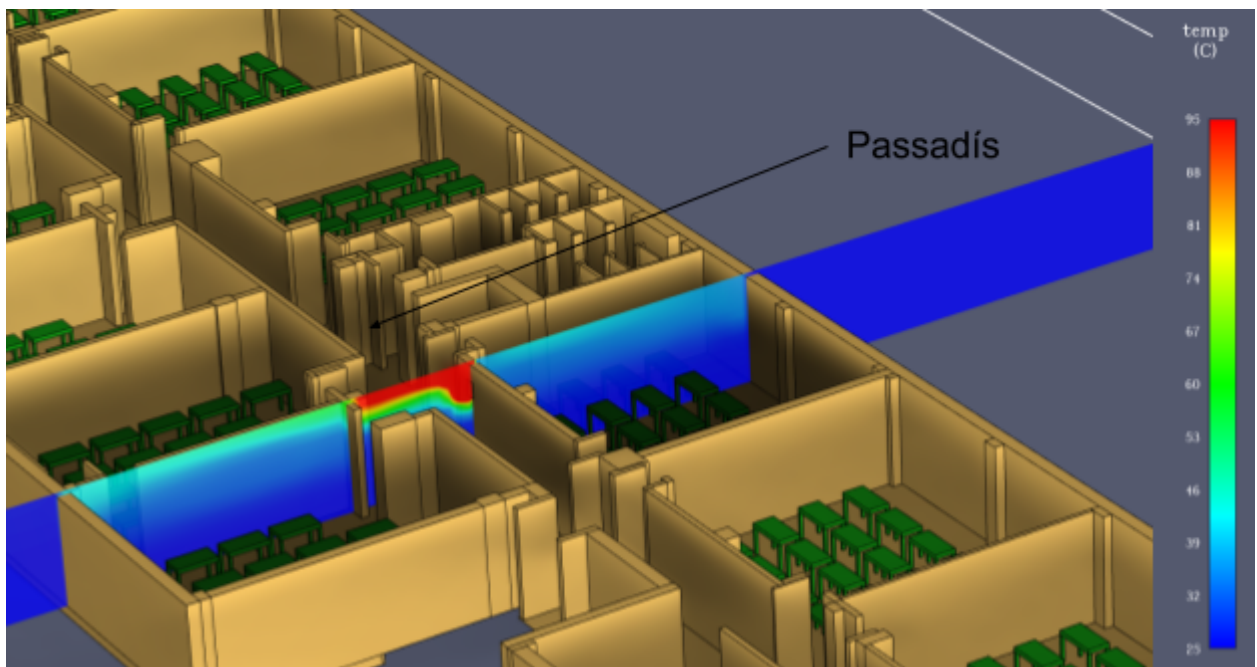


Figura 49: Vista de les diferents temperatures depenent de cada espai i de l'alçada. Es veu a la part alta que està en vermell i representa la temperatura de 95°C i en blau una temperatura de 25°C.

En aquesta simulació podem observar que les parts més afectades de l'edifici són el passadís i les aules més properes a l'origen del foc que es pot veure en la figura 46 en vermell. Com el foc s'ha originat en la part central de l'edifici com es veu en la figura 47, el fum s'ha distribuït en totes direccions (figura 45), i com les portes de les aules estan obertes ha pogut entrar en aquestes provocant l'augment de la temperatura dins d'aquestes (figura 48 i 49). Si no haguessin estat obertes, el fum s'hauria acumulat al passadís i no hauria entrat a les aules. D'altra banda, aquest tipus d'incendi no afecta les aules més allunyades directament i de manera immediata, tot i que sí que es poden veure afectades a l'hora d'evacuar l'edifici si han de fer ús del passadís.

### **Simulacions planta 3**

En aquesta planta farem dues simulacions en les quals l'únic paràmetre que variarà entre una i l'altra seran les condicions atmosfèriques.

#### 1r cas: Lavabos Planta 3, condicions atmosfèriques I

En la primera simulació de la planta 3 hem suposat que l'incendi comença en els lavabos. En aquest espai és poc probable que comenci un incendi, però mitjançant aquesta simulació podem veure què passaria si aquest comencés en un lloc amb poca gent i on els espais són més petits. En aquesta simulació l'incendi inicial és més gran; és a dir, que la superfície inicial que es crema és més gran, per a poder comparar-lo millor amb el següent cas de simulació.

Les condicions atmosfèriques en les quals realitzem aquesta simulació són les bàsiques predefinides pel mateix programa. A una temperatura de 20°C, una humitat relativa del 40% i a 1013 hPa de pressió atmosfèrica.

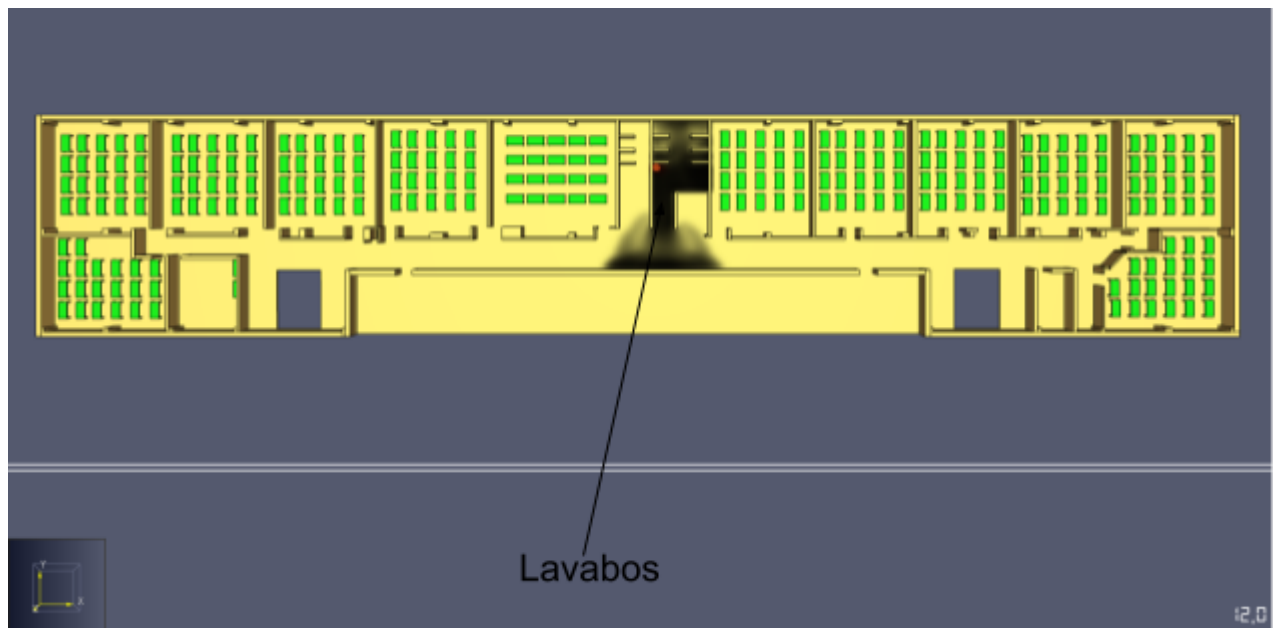


Figura 50: Vista superior de la segona planta 12 segons després que l'incendi comenci al lavabo.

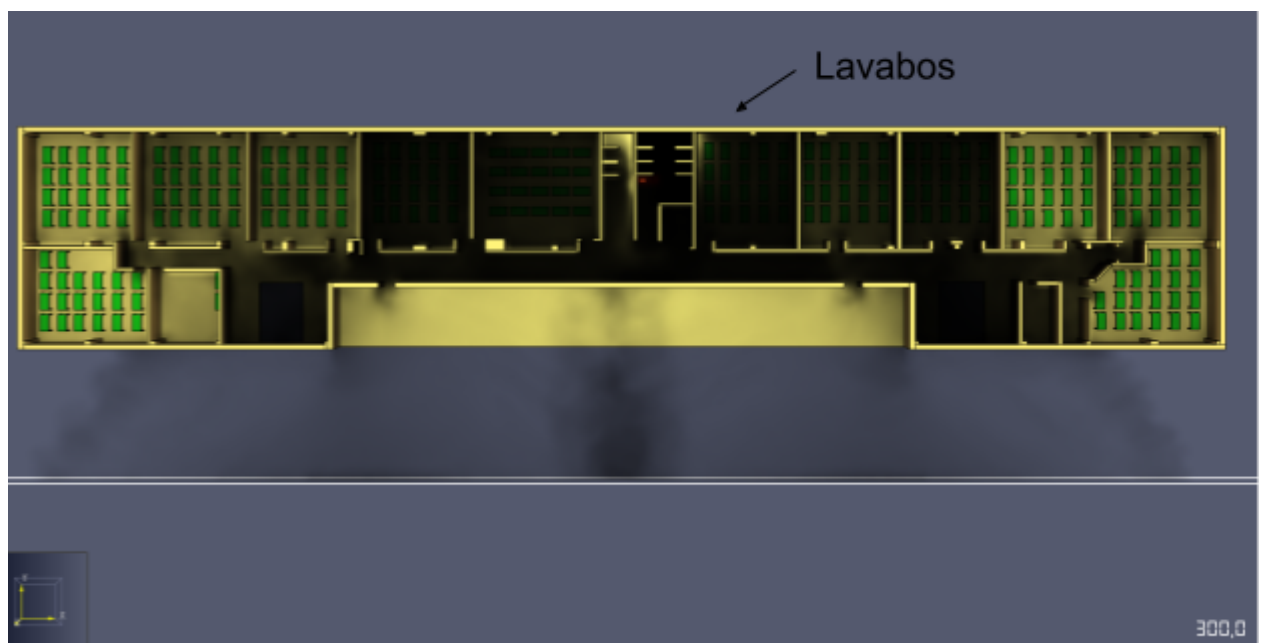


Figura 51: Imatge superior de la segona planta 300 segons després de l'inici del foc. Es veu com el fum ha ocupat la majoria de l'espai de la planta. En comparació a la figura 46, el fum s'ha propagat més perquè, com ja s'ha mencionat, el foc inicial és més gran.



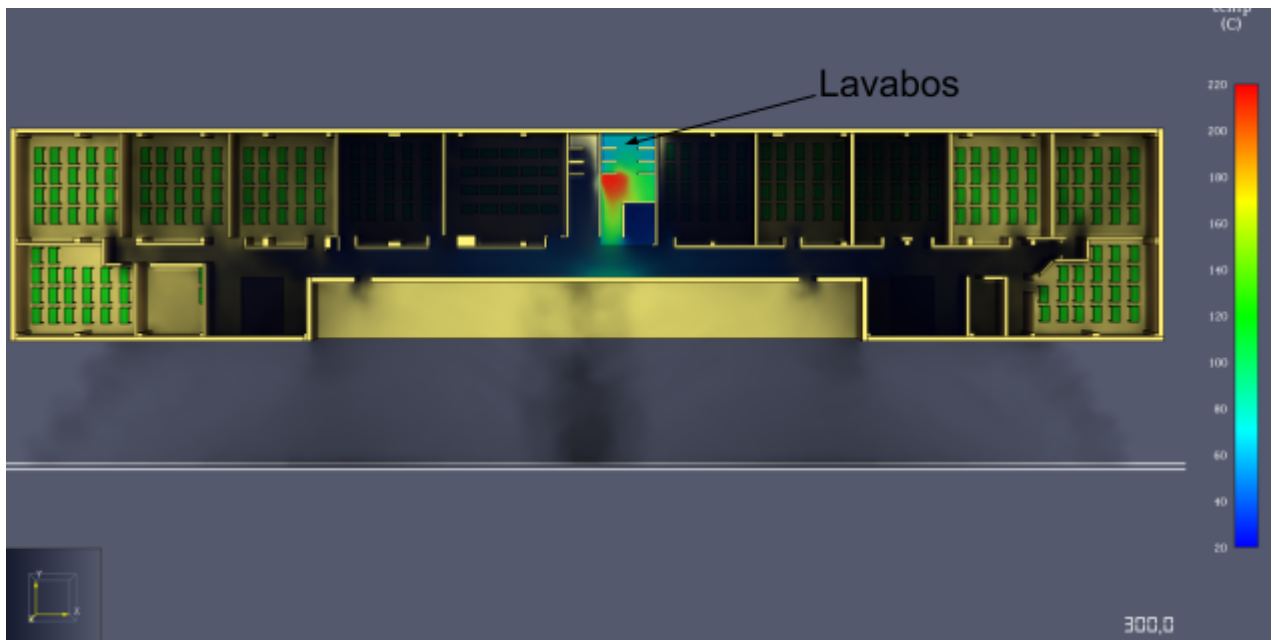


Figura 52: Vista superior de la temperatura als lavabos i part del passadís de la segona planta 300 segons després de l'inici del foc. Es veu en vermell una temperatura màxima de 220°C i una mínima de 20°C representada en blau que vol dir que no ha canviat la temperatura respecte la inicial.

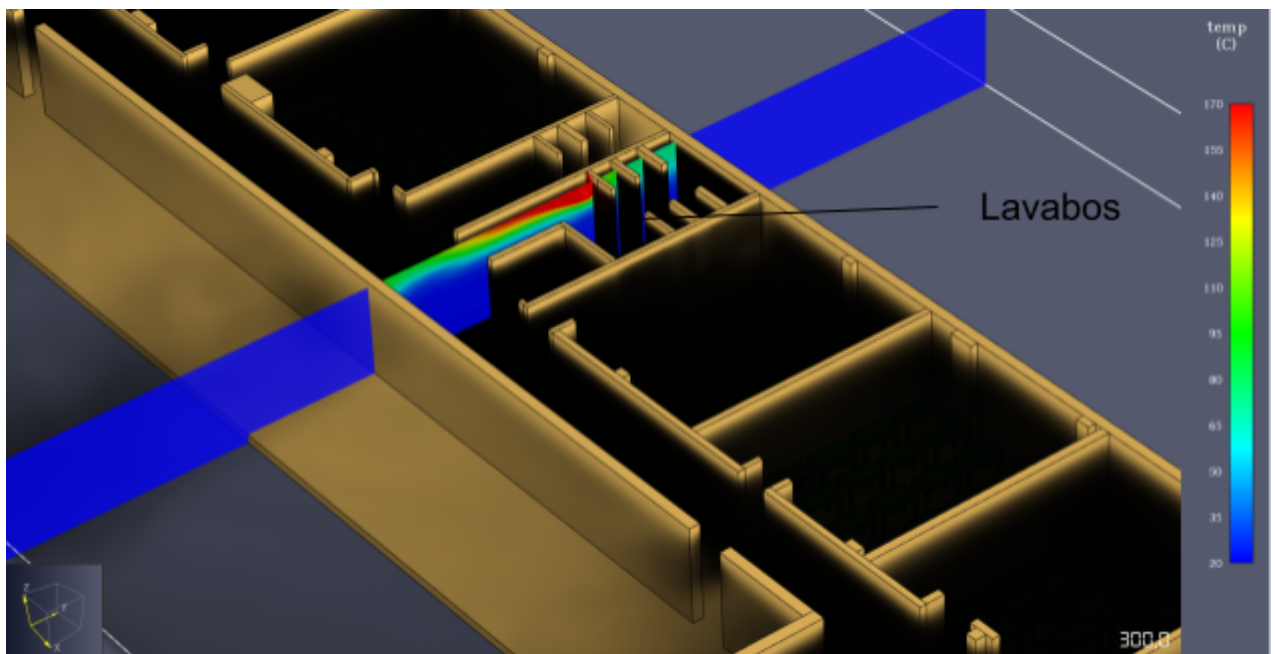


Figura 53: Vista de la temperatura de la secció on s'origina el foc 300 segons després de l'inici del foc. En vermell la temperatura més alta és de 170°C. La temperatura màxima

*és diferent, ja que en ser aquesta una secció en 2D no està representat el punt de màxima temperatura respecte de la figura 52.*

En la figura 50 podem observar que el fum, en un temps molt reduït, de 12 segons, ocupa tot l'espai disponible als lavabos i que després passa al passadís. Per altra banda, com el fum es distribueix per molt espai (figura 51), la temperatura es manté a 20°C en pràcticament tot l'espai excepte en el lloc on s'origina el foc i la part més propera a aquest del passadís com es pot veure en les figures 52 i 53. Això passa perquè la calor es distribueix per tot l'espai però es manté en la part alta de la planta perquè la calor puja, per tant la temperatura a la part baixa es manté.

2n cas: Lavabos planta 3, condicions atmosfèriques II

En aquesta segona simulació l'incendi s'originarà en el mateix lloc que en la simulació anterior, en el lavabo, però canviant les condicions atmosfèriques de la simulació. El que volem veure en aquesta simulació és com afectarien unes condicions completament diferents de les que tenim normalment a l'escola, temperatura de 20°C, humitat relativa del 40% i a 1013 hPa de pressió atmosfèrica, en la propagació del fum.

Les noves condicions atmosfèriques són: una temperatura ambiental de 30,0°C, una humitat relativa del 5% i una pressió atmosfèrica de 1001,25 hPa. Aquestes condicions es podrien donar just abans d'una borrasca, una regió de baixes pressions, en estiu quan la temperatura és més alta.

Per a configurar les noves condicions ho vam fer a partir del quadre de configuració dels paràmetres de simulació tal com es mostra a la figura 54.

Simulation Parameters ×

Simulation Title:

Time Output Environment Particles Simulator Radiation Angled Geometry Misc.

Ambient Temperature:

Ambient Pressure:

Ambient Oxygen Mass Fraction:

Ambient Carbon Dioxide Mass Fraction:

Configure Wind

Relative Humidity:

Ground Level:

Maximum Visibility:

Visibility Factor:

Specify Gravity

X:

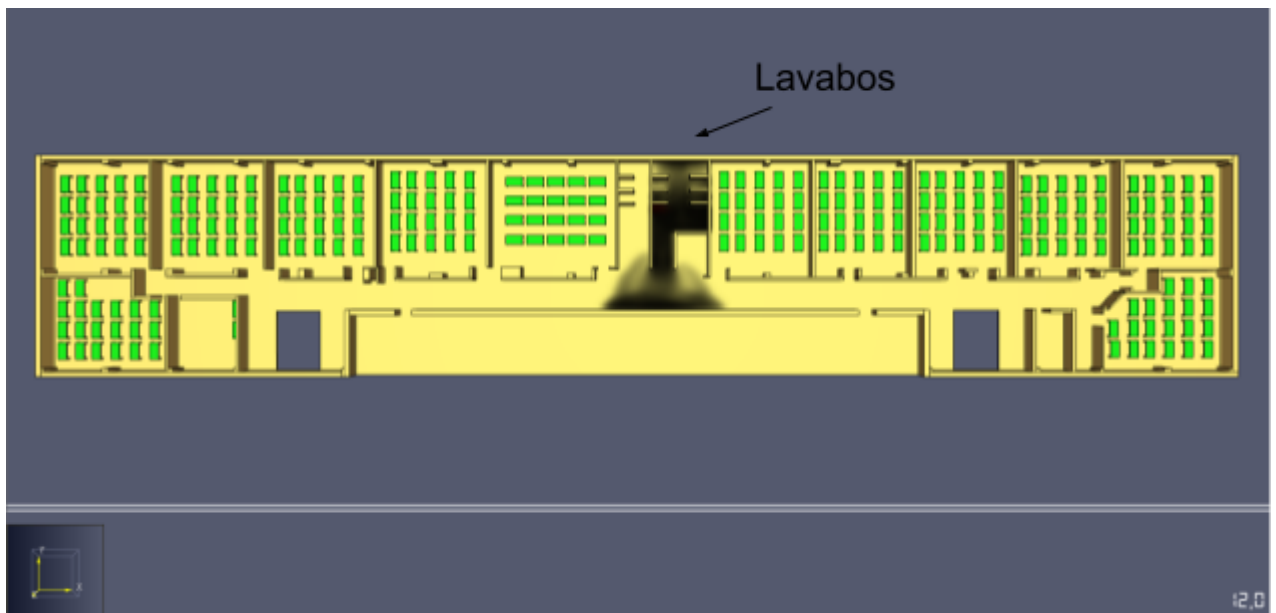
Y:

Z:

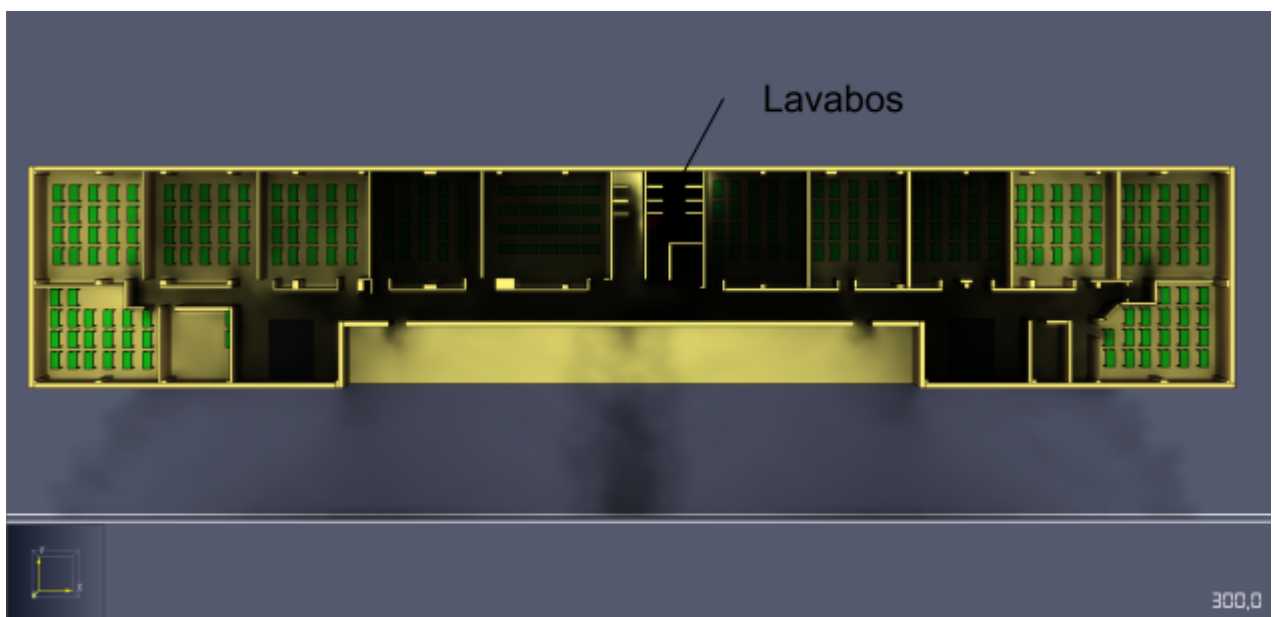
```
&TIME T_END=300.0/  
&DUMP DT_RESTART=300.0, DT_SL3D=0.25/  
&MISC HUMIDITY=5.0, P_INF=1.00125E5, TMPA=30.0/
```

*Figura 54: Quadre de configuració dels paràmetres ambientals de la simulació del programa "PyroSim".*

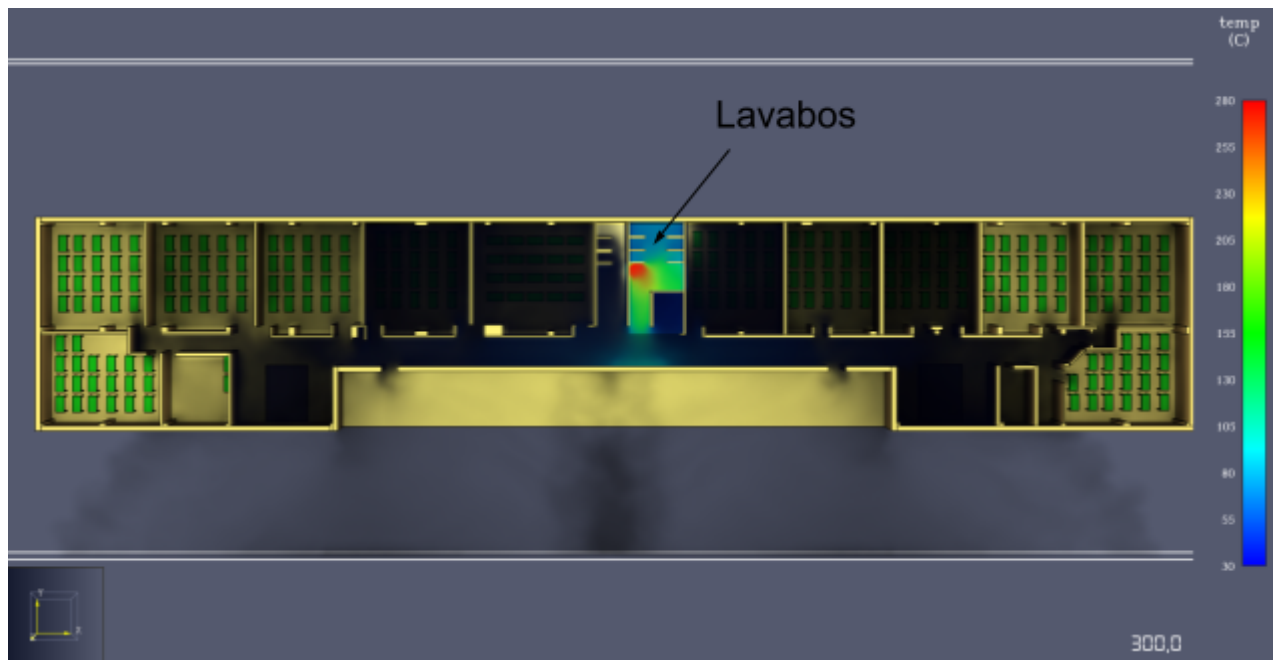
En les figures 55 i 56 que trobem a continuació es pot veure la propagació del fum comparativament amb les figures 50 i 51 del cas anterior.



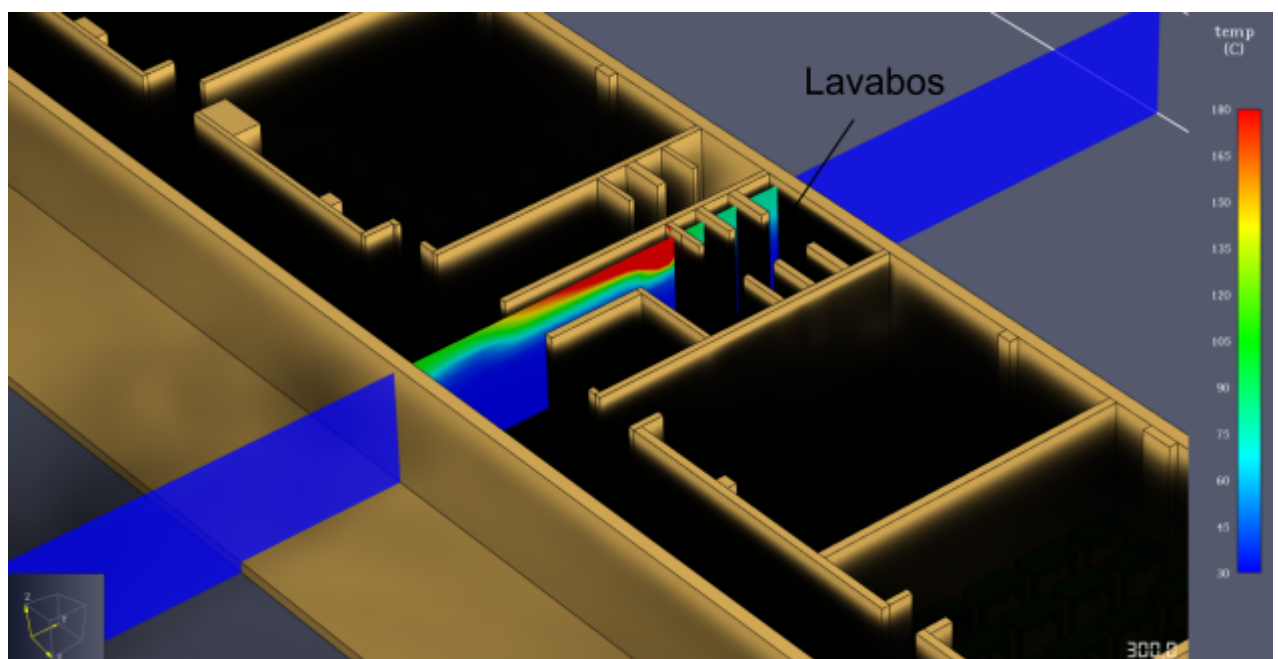
*Figura 55: Vista superior de la segona planta, 12 segons després que l'incendi comenci al lavabo, el fum s'ha propagat pel lavabo i part del passadís, tal com es pot veure.*



*Figura 56: Imatge superior de la segona planta 300 segons després de l'inici del foc. El fum s'ha propagat per la majoria dels espais de la planta de l'edifici.*



*Figura 57: Vista superior de la temperatura als lavabos i part del passadís de la segona planta 300 segons després de l'inici del foc. La temperatura més alta, en vermell, és de 280°C i la més baixa és de 30°C*



*Figura 58: Vista de la temperatura de la secció on s'origina el foc 300 segons després de l'inici del foc, en vermell la temperatura més alta és de 180°C i la més baixa en blau és de 30°C*

Comparant aquesta simulació amb l'anterior observem que no hi ha diferències en la propagació del fum, com es pot veure entre les figures 52 i 67 i les figures 53 i 68. En canvi, podem observar diferències en les temperatures entre els dos incendis. En l'incendi de la segona simulació, la calor es concentra més en un punt i trobem que hi ha més temperatura en parts de menys alçada, com es pot veure en les figures 57 i 58, això és degut al fet que la temperatura inicial en la qual es trobava l'edifici és 10°C superior a la del primer cas, i per tant, quan ha passat el mateix temps, en aquest 2n cas la temperatura final assolida serà més gran.

### **6.6.2. Simulacions d'evacuació**

Aquestes simulacions es van realitzar amb l'objectiu de trobar la millor ruta d'evacuació de manera automàtica amb l'objectiu de desallotjar l'espai el més ràpid possible.

El programa "Pathfinder" és un simulador d'evacuació de persones que es basa en paràmetres. A partir d'un disseny d'un edifici i la configuració dels paràmetres ja explicats als apartats 6.2 i 6.3, el programa permet visualitzar l'evacuació en 2D i 3D per analitzar posteriorment els resultats.

Mitjançant el programa "Pathfinder" hem realitzat una simulació de l'evacuació de tots els alumnes i personal docent i no docent de l'edifici A de l'escola. Una de les simulacions és la nostra proposta d'evacuació, l'altra és la que s'utilitza actualment a l'escola.

### Procés de treball amb "Pathfinder":

Per a dur a terme aquesta simulació vam importar l'edifici prèviament dissenyat en "Sketchup" al programa "Pathfinder". Una vegada importat al "Pathfinder" l'edifici, li vam indicar al programa quin tipus d'element estàvem afegint a la simulació, en aquest cas una obstrucció (Figura 59); és a dir, l'estructura de l'edifici.

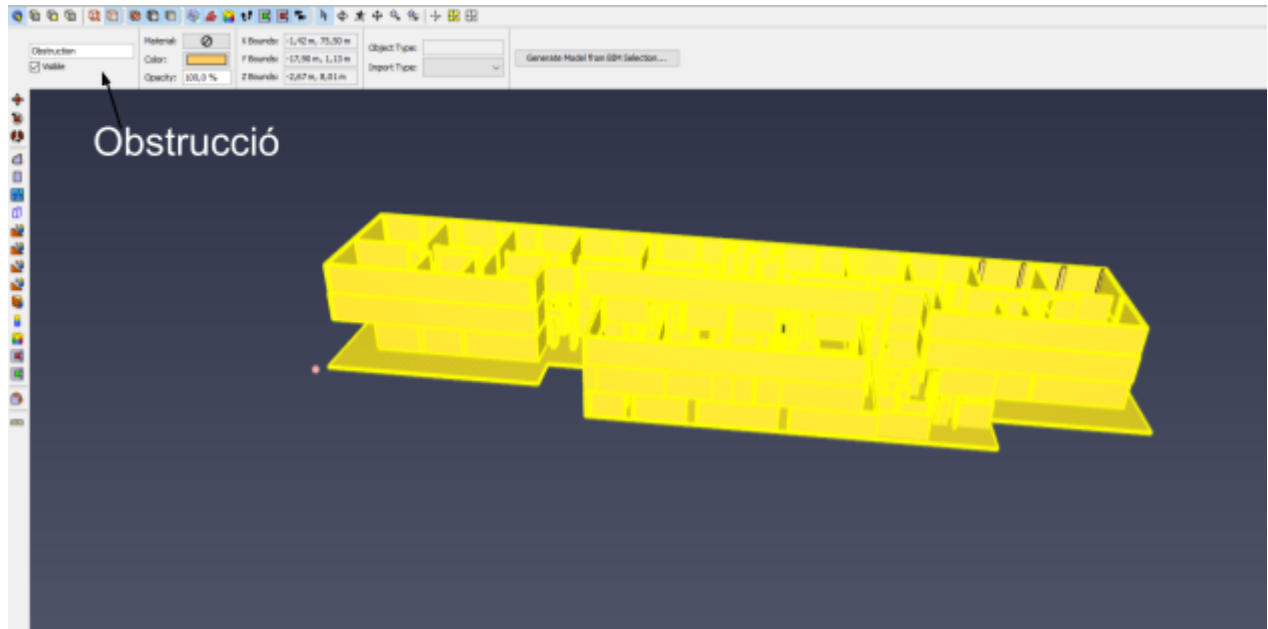
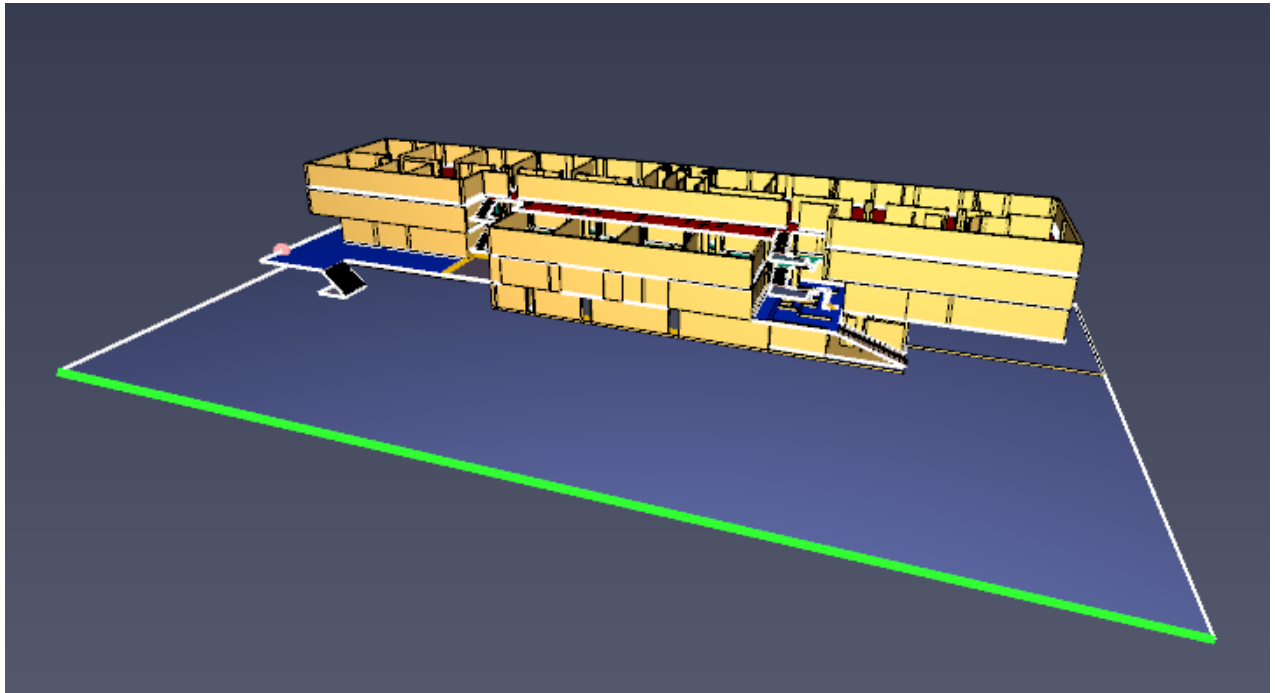


Figura 59: Vista de l'edifici importat al programa "Pathfinder" marcat com una obstrucció.

Seguidament vam afegir el terra de cada planta i el pati, així com les portes i les escales interiors i exteriors de l'edifici com es pot veure en la figura 60.





*Figura 60: Model 3D de l'edifici A visionat en el "Pathfinder"*

Una vegada l'edifici ja tenia tots els components essencials, vam procedir a configurar el comportament dels ocupants de l'edifici d'acord amb el curs acadèmic en el qual es troben. Els paràmetres que vam configurar van ser la velocitat a la qual es mouen, alçada i amplada dels ocupants (figura 61). Els diferents perfils es mostren amb colors diferents en la representació de les persones.

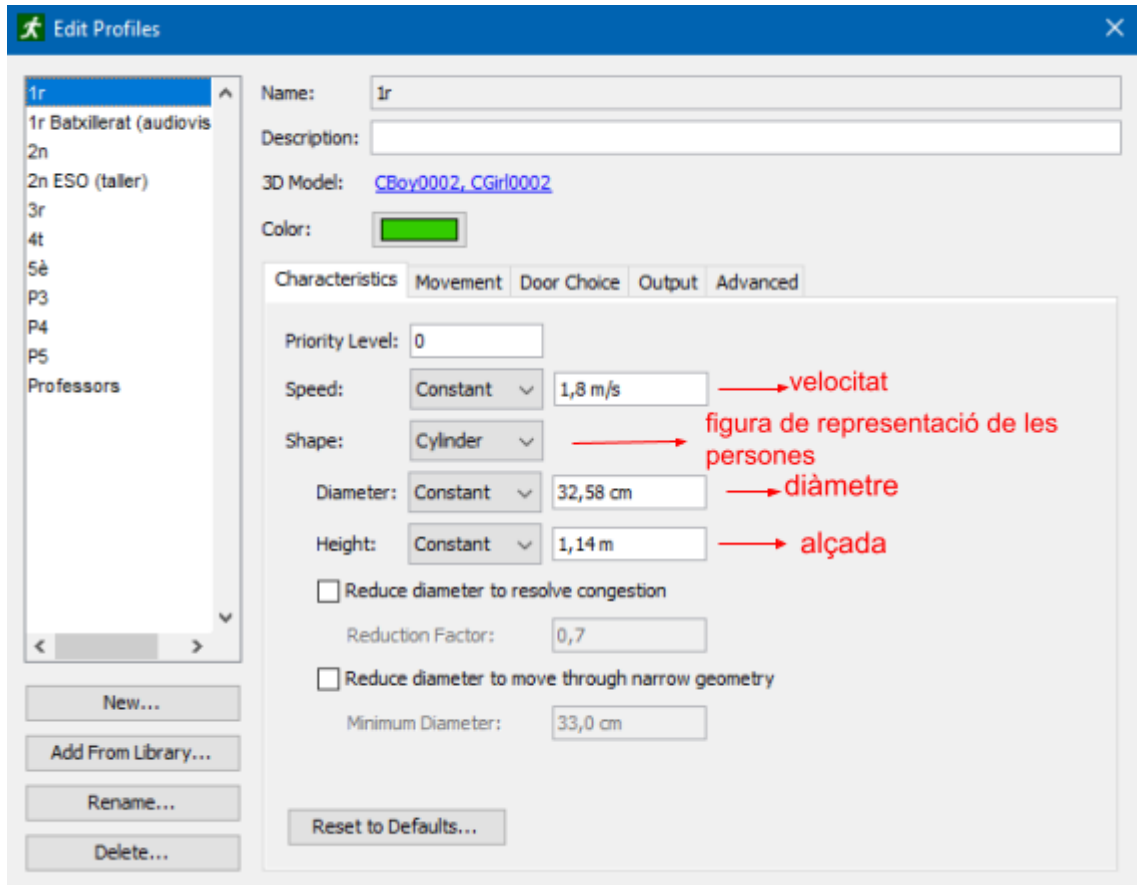
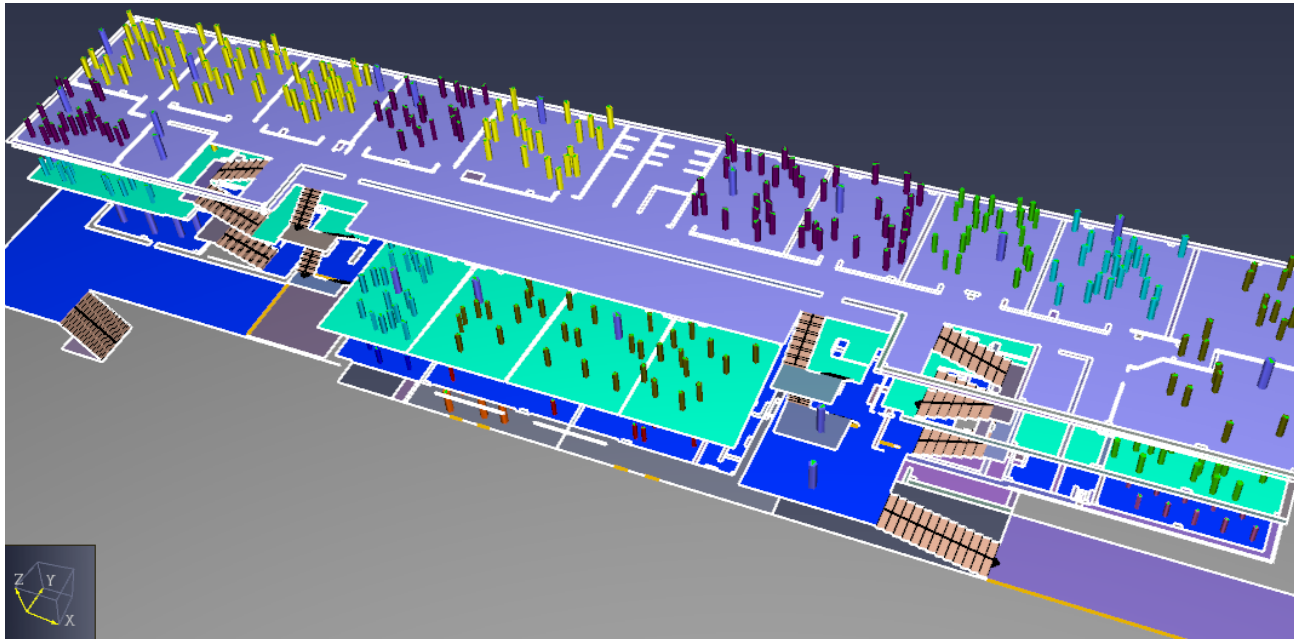


Figura 61: Menú "Edit Profiles" del "Pathfinder" per veure els perfils (velocitat de moviment, amplada i alçada) dels diferents grups de persones.

A continuació vam afegir tots els grups d'ocupants a cada aula amb el seu professor (figura 62). A la vegada vam assignar als alumnes el comportament corresponent segons l'aula en la qual es trobaven. És a dir, l'ordre d'evacuació que havien de seguir depenent de la ubicació respecte a les sortides d'emergència. A la simulació es representen els ocupants en forma de cilindres.

Basant-nos en el nostre pla d'emergència de l'escola vam procedir a configurar el moviment dels ocupants. Amb els ocupants de cada aula vam crear moviments en grup. Vam programar les següents indicacions: els membres d'un mateix grup no es poden separar més de 1,5 m per evitar que es dispersin. Per evitar aglomeracions a les aules vam configurar els moviments de cada grup de manera que fins que un grup no hagi sortit de la seva aula no comenci a sortir el següent.



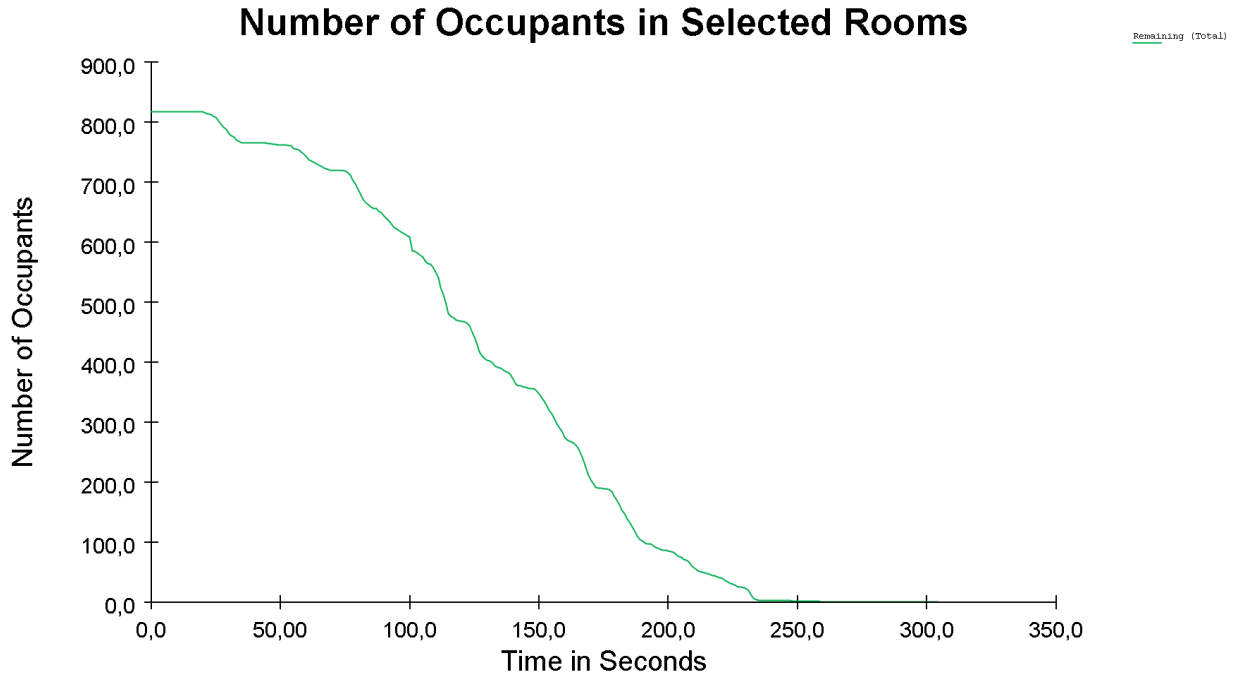
*Figura 62: Visió de la simulació amb "Pathfinder" un cop afegits els ocupants*

Finalment vam afegir el comportament del coordinador de planta. Aquest és un membre del personal docent responsable de revisar que no quedi cap alumne dins de la planta (hi ha un per a cada planta de l'edifici). Revisa tots els espais situats a la planta i si troba algú l'acompanya a la sortida, és l'última persona que abandona la planta. Posteriorment informa al cap d'emergència del nombre d'alumnes evacuats a la planta i el temps d'evacuació.

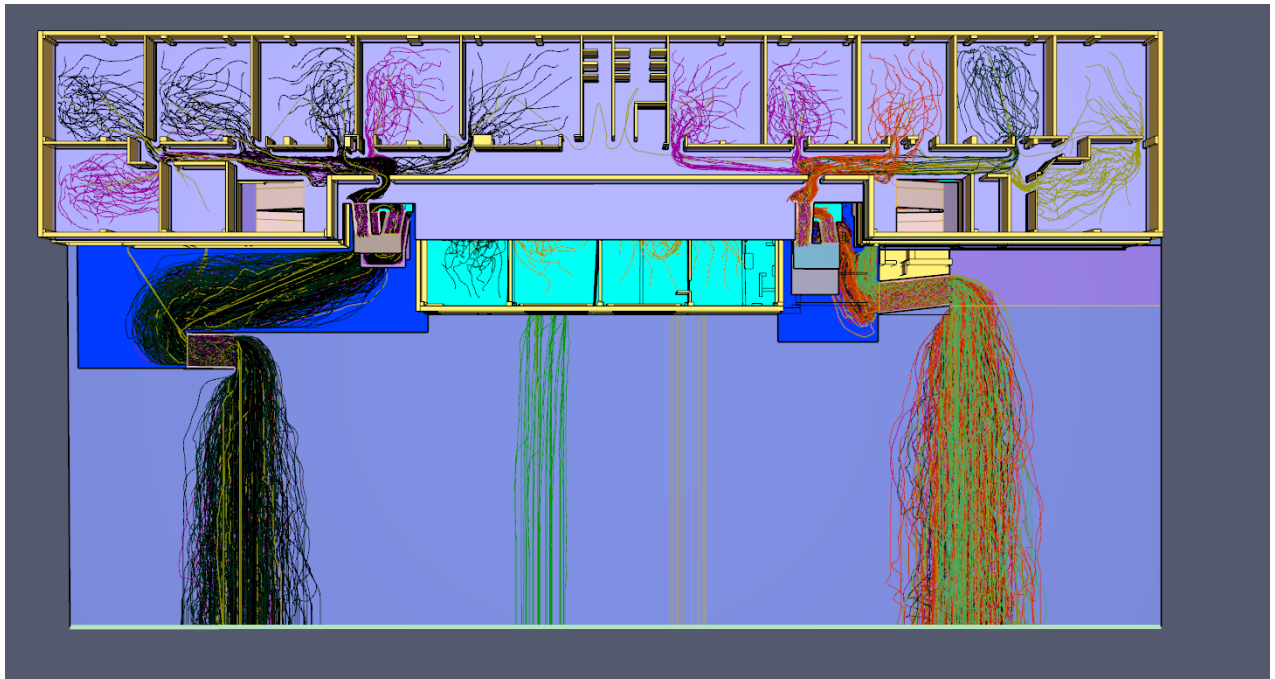
Amb els paràmetres de la simulació introduïts correctament, vam procedir a processar les dades de la simulació. Els resultats obtinguts van ser una simulació completa de l'evacuació de l'edifici.

Amb la simulació vam poder obtenir gràfics sobre la utilització dels diferents espais de l'edifici i el temps d'evacuació (gràfic 1). Aquesta informació ens permet saber si algunes escales o passadissos s'utilitzen més (figures 64, 65 i 67) que d'altres i conseqüentment saber si és probable que es formin aglomeracions en certes zones.

A partir de la simulació també podem saber quins ocupants de l'edifici triguen més a sortir (figura 66) i quines rutes d'evacuació han seguit (figura 63), a fi d'organitzar millor l'ordre d'evacuació.



*Gràfic 1: Nombre d'ocupants restants a l'edifici en funció del temps d'evacuació.  
Exemple: quan queden 300 ocupants a l'edifici han passat 150s.*



*Figura 63: Vista superior de l'edifici A on es mostren les rutes que segueixen els ocupants per desallotjar l'edifici. Cada color és la ruta d'evacuació que ha seguit els alumnes amb diferent perfil.*

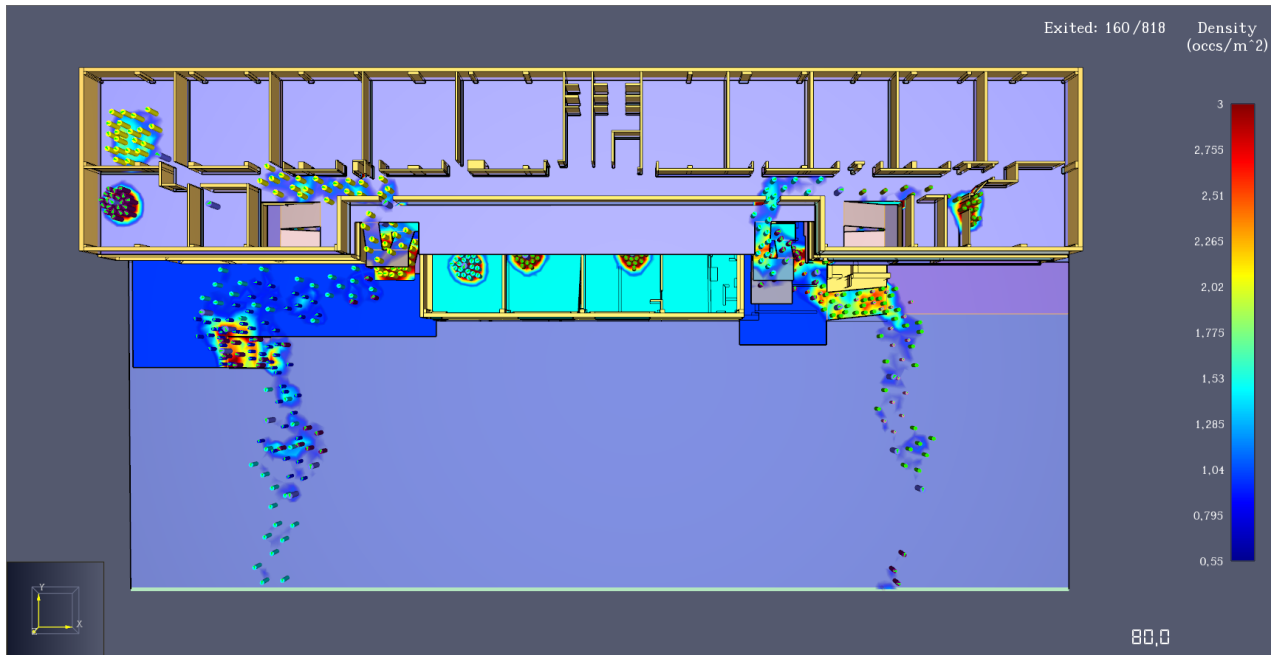


Figura 64: Vista superior de l'edifici passats, per exemple, 80,0 s d'ençà que s'inicia l'evacuació on es mostra un mapa de densitat d'ocupants en ocupants/m<sup>2</sup>; és a dir, el nombre d'ocupants que hi ha per cada metre quadrat. El color vermell mostra les zones on hi ha més densitat d'ocupants i en blau on menys.

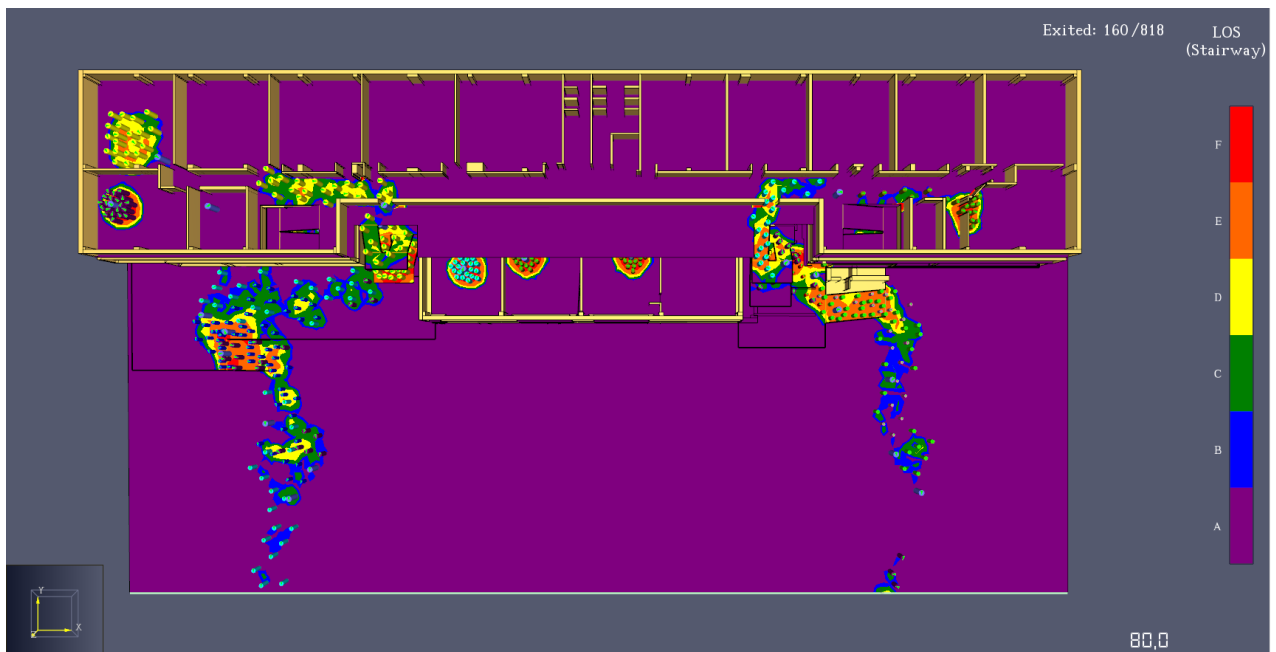


Figura 65: Mapa del nivell de servei de les escales; és a dir, les persones que les utilitzen en un moment determinat, passats, per exemple, 80,0s des de l'evacuació. El nivell de servei té en compte el flux d'ocupants i depenent d'aquest té un nivell o un altre,

una lletra des de la A a la F. El nivell és A la situació en la qual el flux és fluid i es mostra en lila i F que es mostra en vermell són els llocs on més aglomeracions es causen.

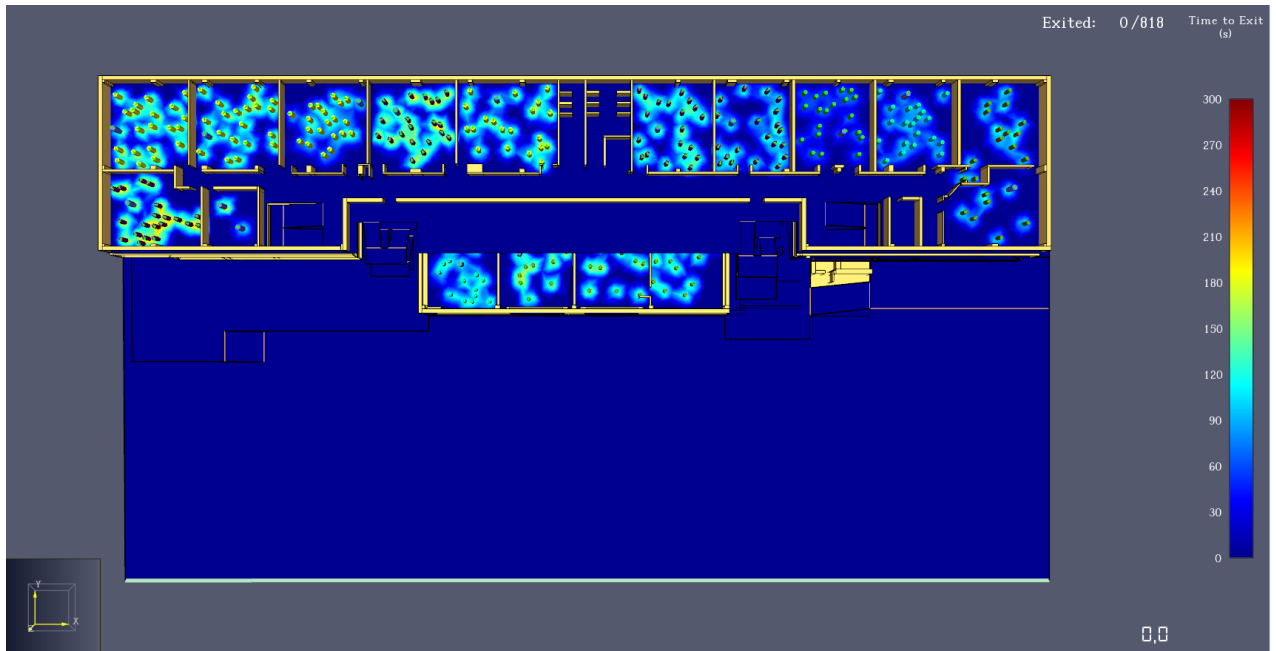
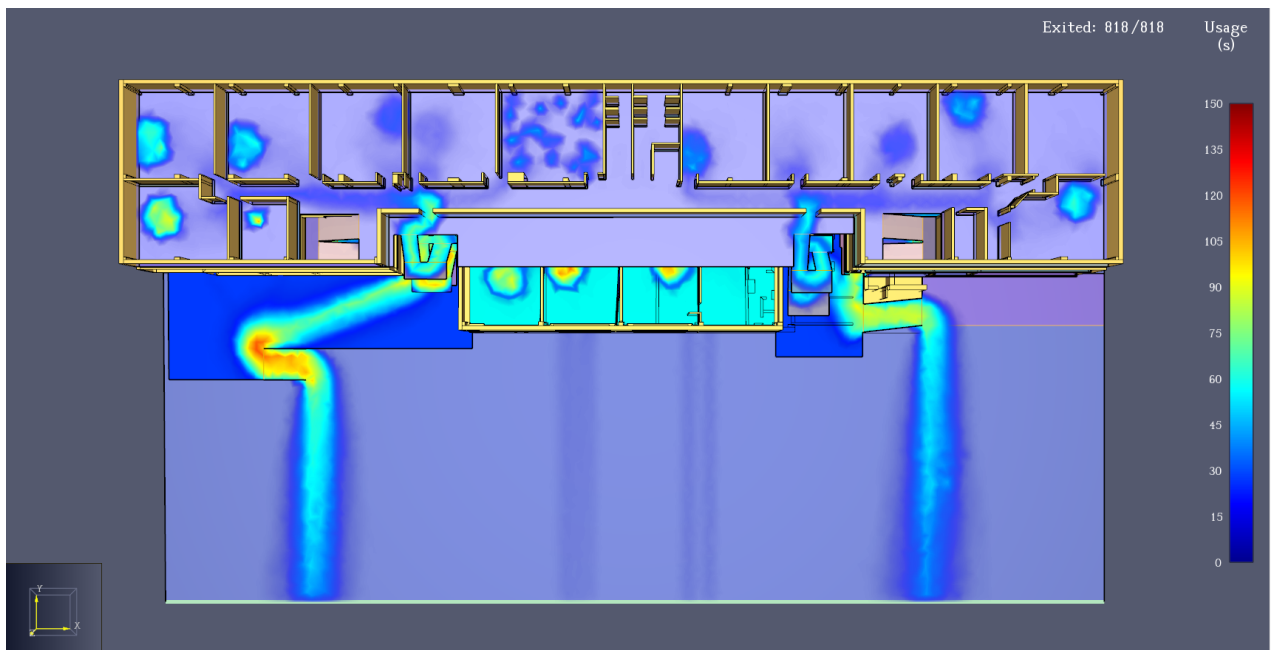


Figura 66: Planta superior de l'edifici on es veu el temps que trigen els ocupants a sortir de l'edifici mesurat en segons com es veu en la llegenda a la dreta de la figura. És útil per saber quins ocupants trigen més a sortir. En vermell es mostra els ocupants que més trigen a sortir i en blau els que menys.



*Figura 67: Vista superior de l'edifici on es veu quines han sigut les zones més utilitzades pels ocupants durant l'evacuació. Informació necessària per saber les zones que es triga més a desocupar. En vermell es mostren les zones més utilitzades i en blau les que menys.*

A partir de les simulacions que hem realitzat podem saber que es triga 305 segons a evacuar l'edifici i revisar que no quedi ningú a dins. L'últim alumne en sortir triga 200 segons, és a dir 3 minuts i 20 segons.



## 7. Resultats

### 7.1. Assajos amb diferents materials al laboratori del foc

Mostrarem els resultats obtinguts de cada mostra dels materials que hem analitzat (apartat 6.4.2.), amb l'objectiu d'estudiar el seu comportament davant del foc.

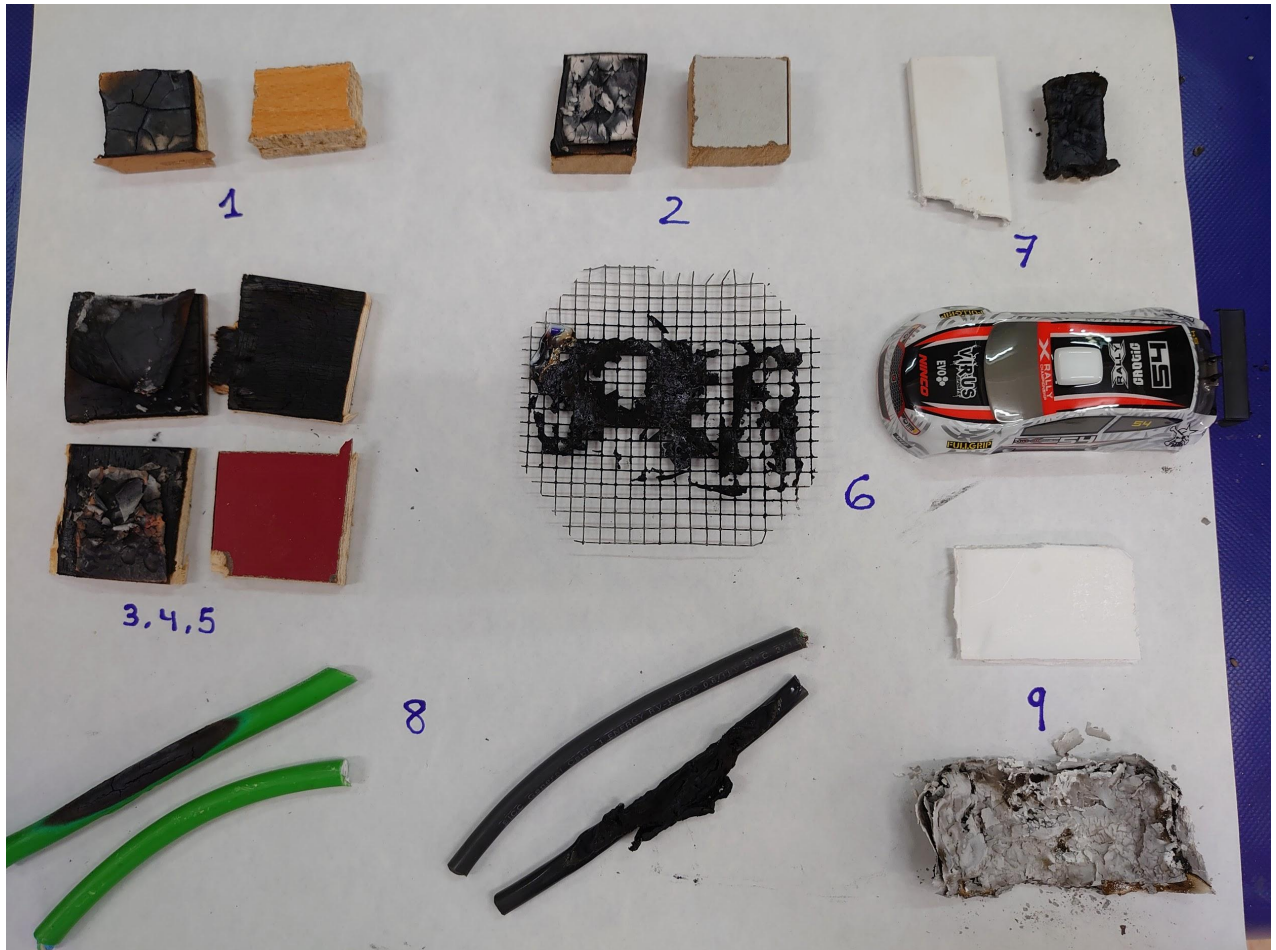


Figura 68: Vista de totes les mostres dels materials que es van analitzar.

#### Procés de treball:

Aquest assaig consisteix a apropar la font de calor a la mostra i mantenir-la a prop fins que es produeixi la ignició de la mostra, s'anota el temps en el qual ha començat a cremar la mostra i aquest serà el temps d'ignició. Després es retira la font de calor i es mesura el temps que dura la ignició, un cop apagat el foc s'anota el temps d'extinció (apagament del foc). Amb aquesta prova podem observar les dues variables que determinen la perillositat del material, el nombre d'ignicions i la durada d'aquestes. Un

material que podríem considerar poc perillós seria aquell que tingui molt poques ignicions i les que tingui haurien de tenir una durada curta.

**NOTA:** Quan diem que es produeix una ignició, volem dir que es cala foc a la mostra.

Si un material té moltes ignicions, però aquestes duren molt poc, això ens indicaria que el material conté algun tipus de component anti-ignífug, i per tant es tracta d'un material poc perillós.

Per altra banda, si un material li costa molt començar la primera ignició, això ens indicaria que el material conté agents retardants, i per tant no cremarà amb facilitat, es tractarà d'un material de perillositat baixa.

Considerem perillós un material que tingui moltes ignicions en un curt període de temps, ja que això ens diu que comença a cremar amb facilitat. També considerem perillós qualsevol material que les seves ignicions tinguin una durada llarga, ja que ens indica que un cop comença a cremar no para amb facilitat.

La durada de la flama és el temps que duren les ignicions.

Abans de realitzar l'experiment amb cada mostra vam mesurar la massa de cada peça i la vam tornar a mesurar un cop havent-la cremat. Amb això vam poder saber quanta massa havia perdut cada mostra i així saber la quantitat de material s'ha cremat. Amb això podem saber si el material és més o menys resistent al foc.

**MOSTRA 1 → Fusta de prestatgeria**

Gruix → 1,5 cm

**Massa inicial → 18,2g**

**Massa final → 15,5g**



	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:53	1:08	0:15
2	1:18	1:26	0:08
3	1:32	1:43	0:11
4	1:49	2:00	0:11
5	2:05	2:18	0:13
6	2:22	2:35	0:13
7	2:37	2:53	0:16
8	2:56	3:12	0:16
9	3:17	3:40	0:23
10	3:46	4:12	0:26
11	4:19	5:36	1:17

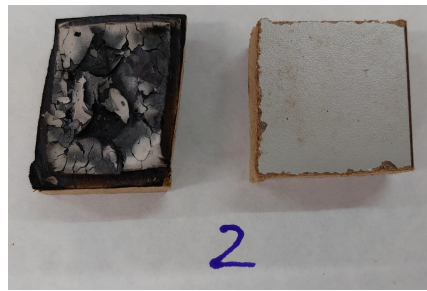
La primera mostra que vàrem analitzar va ser un tros d'una prestatgeria, aquesta va tenir 11 ignicions en 5 minuts. Observant la duració d'aquestes ignicions podem dir que fins a la novena ignició aquestes duraven menys de 20 segons i la ignició més llarga, amb diferència, va ser l'onzena.

**MOSTRA 2 → Taula**

Gruix → 2 cm

**Massa inicial** → 25,2 g

**Massa final** → 22,6 g



	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:44	0:49	0:05
2	1:06	1:19	0:13
3	1:20	1:25	0:05
4	1:32	1:40	0:08
5	1:46	2:16	0:30
6	2:30	2:50	0:20
7	3:01	3:16	0:15
8	3:26	3:42	0:16
9	3:51	4:24	0:33
10	4:29	5:01	0:32

La segona mostra que vàrem analitzar va ser un tros d'una taula, aquesta va tenir 10 ignicions en 5 minuts. Observant la duració d'aquestes ignicions podem dir que fins a la novena ignició aquestes duraven menys de 20 segons i la ignició més llarga, amb diferència, va ser la desena.

### MOSTRA 3 → Fusta de cadira



En aquest assaig vam tenir un problema, ja que la part superior de la cadira està recoberta d'un material plàstic, en aplicar-li calor es va cremar aquesta capa superior i es va aixecar, impedit que es pogués retirar la font de calor en el moment de la ignició sense tirar la mostra a terra.

### MOSTRA 4 → Fusta de cadira (Al revés)

Gruix → 1 cm

Massa inicial → 22,2g

Massa final → 18,5g



	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:22	0:26	0:04
2	0:31	0:36	0:05
3	0:40	0:43	0:03
4	0:46	0:50	0:04
5	0:53	0:59	0:06
6	1:02	1:08	0:06
7	1:12	1:35	0:23
8	1:43	2:03	0:20
9	2:09	2:48	0:39
10	2:56	3:20	0:24
11	3:28	3:49	0:21
12	3:55	4:15	0:20

13	4:21	4:49	0:28
14	4:58	5:14	0:16

La quarta mostra va tenir 14 ignicions en 5 minuts. La durada de les primeres ignicions van ser molt curtes comparant-les amb les últimes, ja que les 6 primeres van ser ignicions de com a màxim 6 segons, la resta d'ignicions van tenir més durada, entre 16 i 39 segons. La ignició més llarga va ser la novena, va durar 39 segons.

**MOSTRA 5→ Fusta de cadira**

Gruix→ 1 cm

**Massa inicial→ 20,6g**

**Massa final→ 16,6g**



Per tal d'evitar tenir els problemes que havíem tingut anteriorment, ja que també tenia plàstic, aquesta vegada per a facilitar la retirada de la font de calor, baixàvem una mica la safata per a retirar la font de calor i un cop tornàvem a posar-la pujàvem la mostra.

	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:32	0:46	0:14
2	0:50	1:03	0:13
3	1:12	1:22	0:10
4	1:29	1:38	0:09
5	1:54	2:03	0:09
6	2:11	2:20	0:09

7	2:30	3:08	0:38
8	3:19	3:30	0:11
9	3:41	3:56	0:15
10	4:13	4:56	0:43

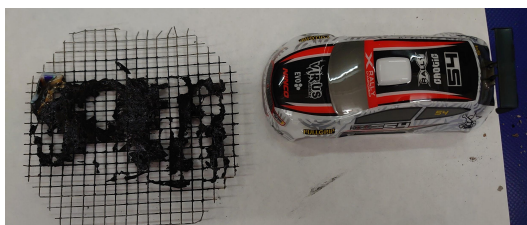
La cinquena mostra que vam analitzar va tenir 10 ignicions en 5 minuts i totes elles van tenir una durada molt curta, d'entre 9 i 15 segons, excepte les ignicions 7 i 10 que van tenir una durada de 38 i 43 segons respectivament.

**MOSTRA 6 → Vehicle de joguina**

Alçada → 3,5 cm

**Massa inicial → 10,3g**

**Massa final → 2,3 g aprox.**



	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	1,33	3,33	2:00

En aquest assaig vam poder observar una cosa molt interessant. Quan vam començar a posar la font de calor just a sobre del vehicle de plàstic de joguina aquest es va començar a desfer. Un cop tot el cotxe es va desfer durant 1 minut i 33 segons va provocar una ignició de tot el material. En ser un plàstic sotmès a altes temperatures aquest va començar a gotejar i a inflamar el cotó fluix que hi havia just a sota per comprovar la seva perillositat. El cotó fluix i el vehicle van seguir cremant fins als 3 minuts i 33 segons, quan ja no hi va haver més material combustible i no es va generar cap altra ignició i per tant es va extingir.



**MOSTRA 7 → Canaleta de cablejat elèctric**

Gruix → 0,7 cm

**Massa inicial → 8,8g**

**Massa final → 5,3g aprox.**



	TEMPS D'IGNICIÓ (min.)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min.)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:44	0:49	0:05
2	1:06	1:14	0:08
3	1:19	1:25	0:06
4	1:32	1:40	0:08
5	1:46	2:16	0:30
6	2:30	2:50	0:20
7	3:01	3:16	0:15
8	3:26	3:42	0:16
9	3:51	4:24	0:33
10	4:29	5:01	0:32

En aquest assaig vam poder observar una cosa molt interessant, la regleta va tenir moltes ignicions, però aquestes s'apagaven molt de pressa després de retirar la font de calor. Basant-nos en aquest fet i que el fum era de color blanc (vapor d'aigua) podem concloure que la composició del plàstic de la regleta contenia algun tipus d'agent retardant.

## MOSTRA 8 → Cablejat

### Negre:

Gruix → 0,8 cm

Massa inicial → 16,6g

Massa final → 15,7g



### Verd:

Gruix → 0,8 cm

Massa inicial → 25,6g

Massa final → 25,1g

	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:57	1:11	0:14
2	1:50	2:05	0:15
3	2:22	2:34	0:12
4	2:48	3:00	0:12
5	3:14	3:22	0:08
6	3:28	3:33	0:05
7	3:40	3:47	0:07
8	3:53	4:01	0:08
9	4:09	4:16	0:07
10	4:29	4:32	0:03
11	4:42	4:53	0:11

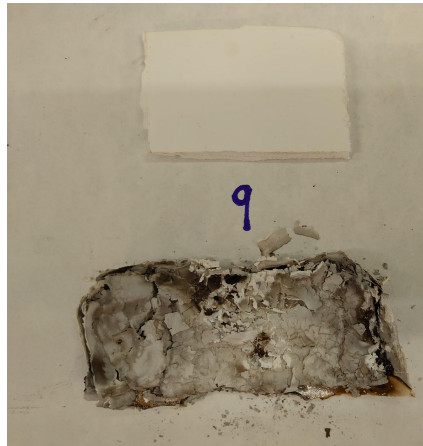
En aquest cas també vàrem poder veure que el cablejat contenia algun tipus de protector ignífug, ja que va haver-hi bastants ignicions però aquestes tenien una durada insignificant.

**MOSTRA 9 → Cartró ploma**

Gruix → 0,5 cm

**Massa inicial → 4,1g**

**Massa final → 2,5g**



	TEMPS D'IGNICIÓ (min)	TEMPS D'EXTINCIÓ (min)	DURADA DE LA FLAMA (min)
1	0:06	0:26	0:20
2	0:27	1:54	1:27
3	2:07	3:10	1:03
4	3:36	4:57	1:21

En aquest cas observem que hi ha molt poques ignicions, però aquestes tenen una durada significativa i que entre ignicions hi ha molt poc temps. Per tant es tracta d'un material perillós.

## **Anàlisis dels resultats obtinguts:**

En els nostres assajos vàrem poder observar que hi havia materials amb agents retardants o amb algun tipus de capa ignífuga. La regleta portava una capa de pintura intumescent (per a més informació consultar apartat 2.3 dels annexos) per a retardar endarrerir i escurçar les ignicions. Per altra banda, vàrem observar que els cables tenien algun tipus d'agent ignífug, ja que hi va haver bastants ignicions, però a causa d'aquest agent ignífug aquestes no duraven gaire.

A causa del problema que vàrem tenir en l'anàlisi de la mostra 3 (consultar apartat de resultats de la mostra 3 per a més informació), vam haver de realitzar dues anàlisis més, col·locant la cara amb el plàstic a la part inferior i en l'altra a la part superior. En estar del dret la mostra, la capa superior de plàstic la va protegir del foc i va tenir menys ignicions que no pas la mostra col·locada al revés. I per tant la mostra col·locada del revés té una perillositat més elevada que no pas l'altra, però, generalment, les dues tenen una perillositat moderada.

A través de les dades obtingudes podem dir les fustes utilitzades en les prestatgeries i en les taules no són uns materials especialment perillosos, ja que les ignicions no han durat un temps significatiu fins a la novena ignició; en altres paraules, no són materials amb una perillositat significativa.

D'altra banda, el cotxe de joguina va demostrar una alta perillositat, ja que en fondes va començar a gotejar i inflamar el cotó fluix que hi havia a la plataforma inferior de l'aparell, indicant que en cas d'incendi podria inflamar altres objectes. El cartó ploma, també ha demostrat ser un material de perillositat alta, ja que les ignicions s'inicien amb facilitat i aquests tenen una durada significativa, podem concloure que es tracta d'un material amb una perillositat alta.

## 7.2. Plànols i Ordre d'Evacuació

Per tal de facilitar l'evacuació de l'edifici A de l'escola cada aula té un plànol d'evacuació, d'acord amb la planta on està situada l'aula. Aquests plànols indicaran la sortida que cada aula haurà d'utilitzar i en l'ordre que hauran de sortir els alumnes. Aquests mapes han estat el resultat de les nostres simulacions d'evacuació realitzades amb el programa "Pathfinder", ja que aquest troba automàticament el camí que han de realitzar els alumnes de cada aula per tal d'evacuar l'edifici el més ràpid possible i de manera ordenada per tal que no hi hagi aglomeracions. En els plànols es poden observar diversos números els quals fan referència a l'ordre d'evacuació; és a dir, les aules del grup 1 (les que tinguin un 1 a sobre) seran les primeres a iniciar l'evacuació, les aules evacuaran seguint l'ordre numèric dels plànols. També cal esmentar que si en una mateixa planta hi ha 2 aules amb el mateix número, això indica que aquests grups hauran d'evacuar l'edifici a la vegada (aquests grups no es creuen per dins de l'edifici i surten de l'edifici per portes diferents i per tant no hi haurà problemes d'aglomeracions). Els plànols d'evacuació també disposen de la senyalització de la ubicació dels elements més útils en cas d'emergència, com els polsadors per activar l'alarma en cas d'incendi, les B.I.E.S. (boques d'incendis equipades) disponibles perquè els bombers puguin fer-ne ús d'elles per tal de dur a terme l'extinció del foc, els dos tipus d'extintors de pols i de CO<sub>2</sub> presents a l'escola. El camí a seguir està indicat per les fletxes de color verd i en tot moment s'hauran de seguir en cas d'evacuació.

**Punts de reunió:** Davant de l'edifici en què hem volgut centrar el nostre treball de recerca, l'edifici A, hi ha una zona destinada per a l'esbarjo dels alumnes, el pati gris, anomenat així pel seu color. Aquell pati serà on s'han situat els punts de reunió, ZONA A i ZONA B; cada aula haurà de dirigir-se a una d'aquestes zones. La ZONA A es troba a la part elevada del pati i la ZONA B es troba a peu de carrer (figura 69 i 70).



Figura 69: Imatge superior de l'edifici A obtinguda utilitzant Google Earth amb indicacions de la posició de cada punt de reunió.

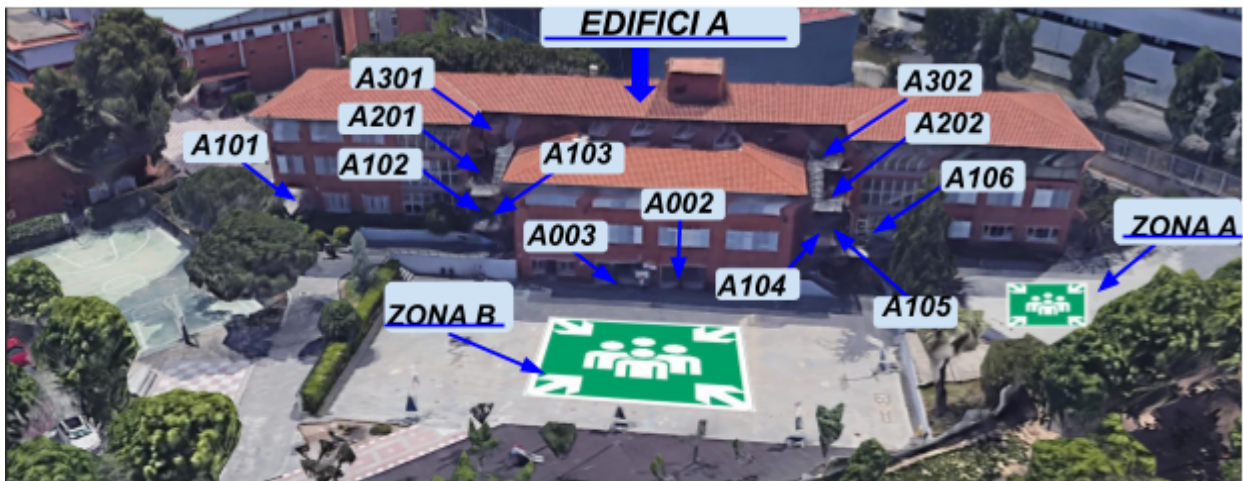


Figura 70: Imatge frontal de l'edifici A obtinguda utilitzant Google Earth amb indicacions de la posició de cada punt de reunió i les portes de l'edifici.

**Punts de reunió segons la sortida utilitzada:**

**ZONA A:** Portes A105, A106

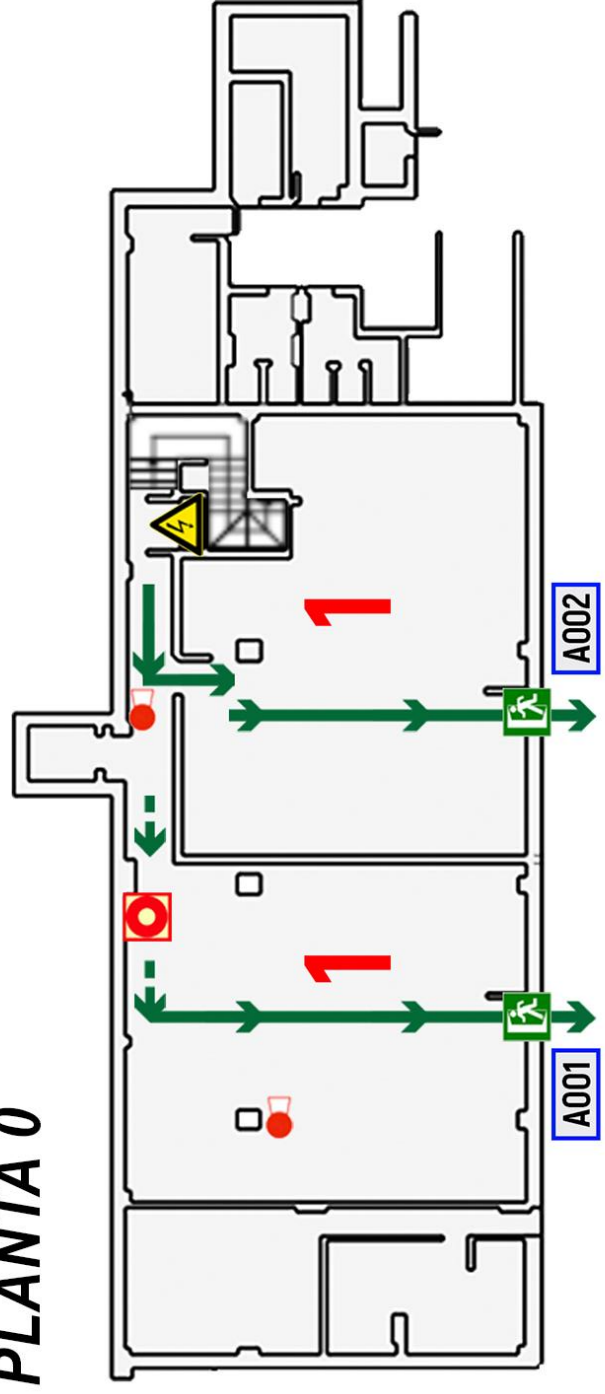
**ZONA B:** Portes A104, A302, A103, A102, A301, A002 i A001

**NOTA:** L'escala interior que comunica la planta 0 amb la 1 de l'edifici no s'utilitza com ús per l'evacuació.

Els plànols d'evacuació realitzats són els següents:

# PLÀ D'EVACUACIÓ

## EDIFICI A: PLANTA 0



- Punts de reunió
- Sentit d'evacuació
- Extintor de pols
- Extintor de CO2

- Polsador
- Mànega

- Quadre elèctric
- Sortida d'emergència

- ZONA B

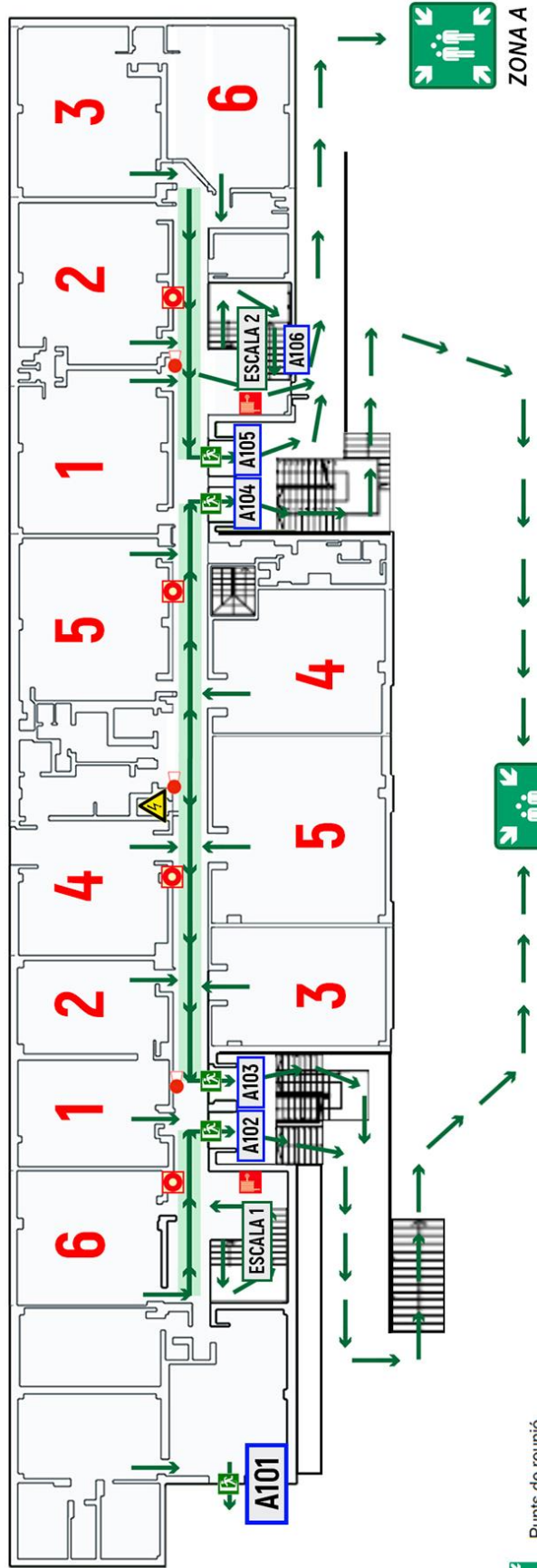
Escola:





# PLA D'EVACUACIÓ

## EDIFICI A: PLANTA 1



- Punts de reunió
- Sentit d'evacuació
- Extintor de pols
- Extintor de CO2
- Polsador
- Mànega
- Quadre elèctric
- Sortida d'emergència

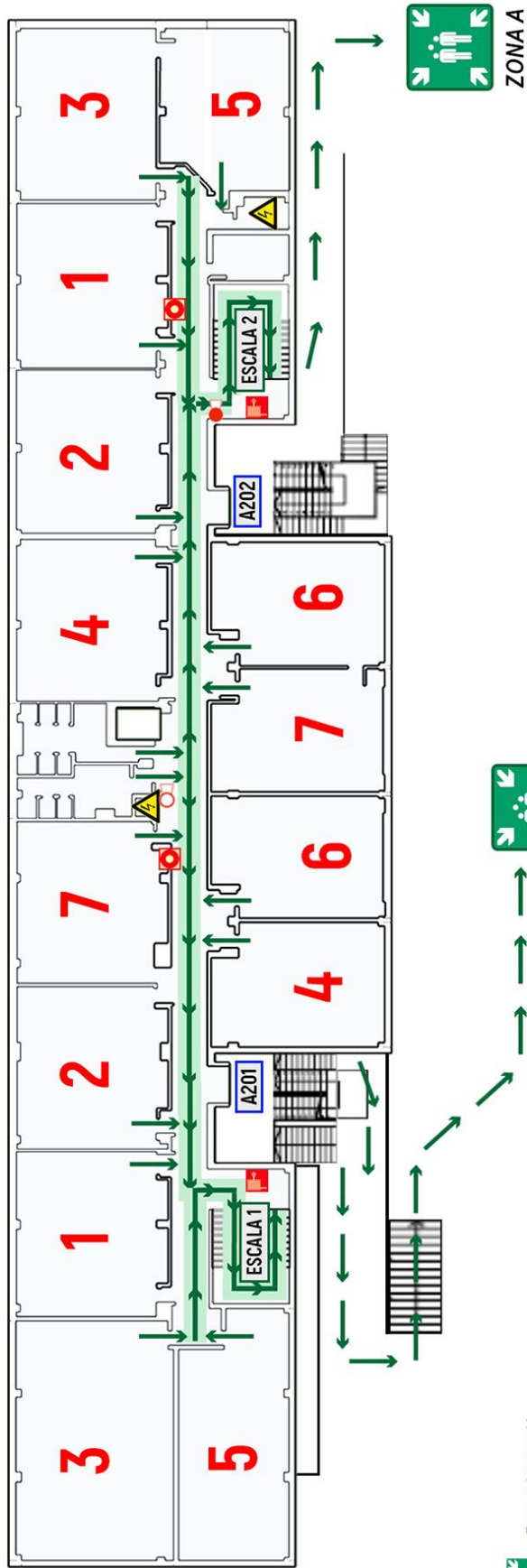
Escola: \_\_\_\_\_



Atenció: No passar per davant de la font, és un pas per vehicles d'emergència.

# PLA D'EVACUACIÓ

## EDIFICI A: PLANTA 2



- Punts de reunió
- Sentit d'evacuació
- Extintor de pols
- Extintor de CO2

- Polсадor
- Mànega

- Quadre elèctric
- Sortida d'emergència

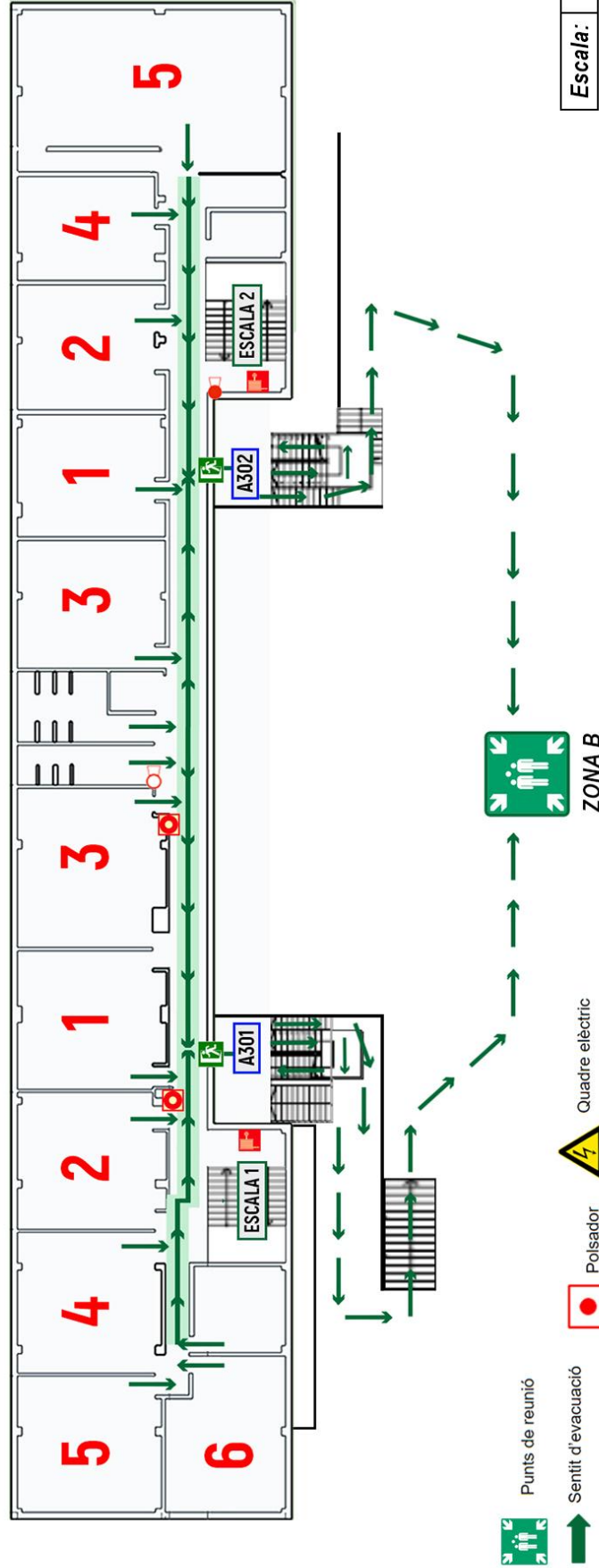
Escala:



**Atenció:** No passar per davant de la font, és un pas per vehicles d'emergència.  
**Nota:** Baixar a la planta 1 per les escales interiors corresponents (1 o 2) i evacuar per les portes corresponents (A102 i A106)

# PLA D'EVACUACIÓ







## EDIFICI A: PLANTA 3



Escala:  



**Atenció:** No passar per davant de la font, és un pas per vehicles d'emergència.  
**Nota:** Sortir per les portes corresponents (A301 i A302) i baixar per les escales metàl·liques exteriors corresponents (1 o 2)

-  Punts de reunió
-  Sentit d'evacuació
-  Extintor de pols
-  Extintor de CO2
-  Polsador
-  Mànega
-  Quadre elèctric
-  Sortida d'emergència

Seguint els plànols que hem realitzat basats en les simulacions, es triga 3 minuts i 20 segons en evacuar l'edifici. En un dels simulacres que es va realitzar a l'escola també es va trigar 3 minuts i 20 segons en evacuar l'edifici, però en aquest simulacre no es va respectar l'ordre d'evacuació de les classes.

Per tant, comparant els nostres resultats amb els obtinguts en el simulacre de l'escola podem dir que la nostra evacuació, tot i que els alumnes han d'esperar a les seves aules i mantenint l'ordre, triguen el mateix. Per tant, el nostre pla d'evacuació a més de ser efectiu és més segur.

### **7.3. Millores**

Aquest treball ens ha permès detectar i resoldre alguns problemes en el pla d'emergència de l'escola

Hem pogut fer un estudi dels materials més adequats per tenir a l'interior de les aules d'un centre escolar amb l'objectiu de reduir la perillositat en cas d'incendi. Hem realitzat una millora en els plànols d'evacuació, amb una senyalització clara i fàcil de reconèixer. Hem establert un ordre d'evacuació per a cada planta de l'edifici amb un ordre clar i que s'haurà de respectar en cas d'emergència, que permet fer una evacuació amb més organitzada i reduint el risc.

A més mitjançant les simulacions de propagació del foc i del fum hem pogut detectar zones d'alt risc d'incendi. Amb les simulacions d'evacuació hem detectat colls d'ampolla, zones on s'aglomera molta gent en el moment d'evacuar, així com les zones de les escales en les quals hi ha més risc en els que es produeixin aquestes aglomeracions.

## 8. Conclusions

Després de la realització del treball podem afirmar amb orgull que hem pogut completar tots els nostres objectius proposats a l'inici del projecte. Hem pogut assolir tots els coneixements necessaris per a poder fer simulacions en els programes "Pathfinder" i "PyroSim" i hem augmentat els nostres coneixements del programa "Sketchup" en dissenyar tot l'edifici amb aquest programa. Han estat uns mesos molt intensos en els que hem compartit molt temps, la relació de grup ha estat molt bona, hem fet una distribució de feina en el marc adequat i cadascú de nosaltres ha treballat al màxim rendiment per tal d'avançar contínuament amb el treball i finalitzar-lo per la data límit d'entrega.

A causa de la situació sanitària no hem pogut fer tot els que haguéssim volgut. Nosaltres teníem pensat realitzar les pràctiques al Laboratori del foc durant l'estiu, i just en començar el curs, fer el nostre propi estudi del comportament i característiques dels ocupants de l'edifici. En haver-hi tanta diferència d'edat entre els alumnes de l'edifici, vàrem pensar que seria interessant fer un estudi de l'alçada, amplada i velocitat mitjana per a cada curs i introduir aquestes dades al comportament dels alumnes a la simulació amb el programa "Pathfinder". A causa de la pandèmia l'entrada al laboratori va quedar restringida fins al setembre i vam recórrer a un estudi ja fet d'internet.

## 9. Bibliografia

### Fonts online

Tipus d'extintors, <https://sites.google.com/site/bombersrecerca/tipus-d-extintors>. Es van consultar els tipus d'extintors i les funcions de cada tipus.

Famílias de materiales, <https://www.monografias.com/trabajos104/clasificacion-materiales-ingenieria/img10.png> Aquest arxiu conté un esquema de les famílies de materials i les seves característiques principals.

Manual de senyalització d'emergència, evacuació, i seguretat [http://identitatcorporativa.gencat.cat/web/.content/Documentacio/pdf/manual\\_emerg.pdf](http://identitatcorporativa.gencat.cat/web/.content/Documentacio/pdf/manual_emerg.pdf) Es van extreure les imatges dels senyals d'emergència, la funció dels senyals i les diferents variacions.

Tabla relación velocidad de peatones, <https://causadirecta.com/especial/calculo-de-velocidades/tablas/tabla-relacion-velocidad-de-peatones-caminando> Vam obtenir les dades sobre la velocitat a la qual caminen els ocupants segons l'edat.

El fuego o combustión, [http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros\\_documentos/fuego.pdf](http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/fuego.pdf) Vam obtenir informació sobre els punts d'inflamació, ignició i autoinflamació.

Patrones de crecimiento infantil, <https://www.who.int/childgrowth/standards/es/> Vam extreure les dades d'alçada i amplària per la taula de característiques dels ocupants.

PyroSim User Manual, <https://files.thunderheadeng.com/support/documents/pyrosim-user-manual-2020-4.pdf> Vam obtenir molta informació sobre el funcionament del "PyroSim", s'explica pas a pas com utilitzar cadascuna de les funcions del programa.

PyroSim Results User Manual, <https://files.thunderheadeng.com/support/documents/pyrosim-results-user-manual-2020-4.pdf> S'explica les funcions de la finestra de visualització de resultats del programa "PyroSim" en detall.

Pathfinder User Manual, <https://files.thunderheadeng.com/support/documents/pathfinder-user-manual-2020-4.pdf> Vam obtenir la informació necessària per conèixer el programa "Pathfinder" i el seu funcionament, conté informació detallada i explicada pas a pas.

Pathfinder Results User Manual, <https://files.thunderheadeng.com/support/documents/pathfinder-results-user-manual-2020-4.pdf> Explicació en detall de la finestra de resultats del programa "Pathfinder".

Creating Stairs, <https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pathfinder/create-stairs/>  
Vam utilitzar aquest vídeo tutorial per aprendre a crear escales dins del programa "Pathfinder".

Group Movement in Pathfinder, <https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pathfinder/group-movement/> Vídeo tutorial que vam utilitzar per aprendre a crear moviments en grup dins del programa "Pathfinder".

Ramps and Sketchup Geometry <https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pyrosim/ramps-in-pyrosim/> Per a poder importar el disseny 3D del programa "Sketchup" al programa "PyroSim" vam utilitzar aquest vídeo tutorial on s'explica pas per pas com realitzar aquest procés a partir del minut 4:06.

Pla d'emergència centre educatiu [https://drive.google.com/file/d/1tmTS9go-chpwrX\\_k3AsP6lZRbKjirWqi/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1tmTS9go-chpwrX_k3AsP6lZRbKjirWqi/view?usp=sharing) Document de la Generalitat de Catalunya on s'explica detalladament com fer un pla d'emergència i les consideracions a tenir en compte per a fer el pla d'evacuació.

Manual de senyalització d'emergència, evacuació i seguretat [http://identitatcorporativa.gencat.cat/web/.content/Documentacio/pdf/manual\\_emerg.pdf](http://identitatcorporativa.gencat.cat/web/.content/Documentacio/pdf/manual_emerg.pdf)  
Document de la Generalitat de Catalunya on s'explica detalladament les característiques gràfiques i funcionals de tots els senyals vigents actualment.

Familias y tipos de materiales <http://personales.upv.es/~avicente/curso/unidad1/familia1.html> i Ciencia de materiales, clasificación [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia\\_de\\_materiales#Clasificación](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_de_materiales#Clasificación) Aquesta informació ens va permetre estudiar les propietats dels materials detalladament.



Modalitats organitzatives de la prevenció [https://treball.gencat.cat/ca/ambits/seguretat\\_i\\_salut\\_laboral/organitzacio\\_gestio\\_activitat\\_preventiva/activitat\\_preventiva/](https://treball.gencat.cat/ca/ambits/seguretat_i_salut_laboral/organitzacio_gestio_activitat_preventiva/activitat_preventiva/) i Orgnaització de la prevenció [https://www.uv.es/sfpenlinia/cat/Salut\\_i\\_Prevencio\\_Treball/51\\_organitzaci\\_de\\_la\\_prevenci.html](https://www.uv.es/sfpenlinia/cat/Salut_i_Prevencio_Treball/51_organitzaci_de_la_prevenci.html) Informació sobre la organització de la prevenció.

## 10. Agraïments

En primer lloc volem agrair al nostre tutor, que a més de proposar-nos aquest tema de recerca, gràcies a la seva ajuda i l'aportació d'idees i coneixements ha estat una part molt important d'aquest treball i ens ha permès assolir el nostre objectiu.

També voldríem agrair a l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB) i en concret a la responsable del Laboratori del Foc, Ana María Lacasta Palacio, per facilitar-nos els recursos i eines necessàries per a realitzar les pràctiques al laboratori, a més de proporcionar-nos ajuda amb els programes de simulació.

A l'empresa Thunderhead Engineering per subministrar-nos les llicències educatives dels programes "Pathfinder" i "Pyrosim" sense els quals no hauria estat possible realitzar gran part d'aquest treball.

A l'escola per proveir-nos els plànols i la informació relacionada amb l'edifici en el qual s'ha basat el nostre projecte.

Finalment voldríem agrair a les nostres famílies i els nostres amics pel suport que hem rebut per la seva part durant el transcurs de tot el projecte. Especialment als nostres pares que ens han proporcionat tota l'ajuda disponible quan l'hem necessitat.