



**ESCUELA SANT'ANNA BEVAGNA, ITALIA**  
*Equip de treball:*

*Ilaria Caprioli  
Lorenzo Marchi  
Maria Assis Ferreira  
María José Martínez*

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se presenta como una oportunidad de revisar un proyecto del concurso para la Escuela de Sant'Anna en Bevagna, Italia, realizado en 2020.

El proyecto original había sido desarrollado de acuerdo con intenciones y criterios sostenibles que merecían un estudio en profundidad y comprobación teórica.

Por otro lado, se pretende incorporar algunas estrategias que tengan en cuenta la biohabitabilidad y salubridad de la escuela a modo de ofrecer un entorno sano y seguro.

Nos proponemos a hacer un análisis y reflexión del proyecto presentado y realizar una propuesta actualizada y de bajo impacto ambiental.

Como primer paso cuestionamos las bases del concurso en relación al emplazamiento y al tipo de proyecto: analizamos el solar propuesto en relación al paisaje y su entorno, su uso actual y valor ecológico, además del impacto que generaría en la

movilidad de Bevagna.

Pensamos también en las estrategias de diseño de la escuela en relación a la topografía y los usos a los que se destinaría el suelo.

Lo analizamos en base al programa de la Escuela y en relación con las necesidades de la población y las planteadas por los futuros usuarios, ocupación y definición de los espacios con distintos usos y grados de confort y la posibilidad de incorporar y mejorar las estrategias pasivas y bioclimáticas del diseño planteado.

Se consideran usos complementarios que el edificio pueda ofrecer, convirtiéndolo en un equipamiento polivalente de vocación territorial.

Se estudian los condicionantes y recursos del lugar, entendidos en un sentido amplio, ya sean en términos de materiales producidos localmente o de las características climatológicas que permiten la captación de

agua o de energía solar, pasiva y activamente.

Hacemos un análisis comparativo y progresivo que nos permite obtener criterios de intervención que conducen, finalmente, a un diseño más sostenible.

*El concurso para un nuevo complejo escolar en Italia y la influencia de la pandemia en el programa funcional.*



### Bases y programa

El tema de estudio es el **proyecto para un complejo escolar** situado en una pequeña comuna de nombre Bevagna, en el centro de Italia entre los Apeninos.

El proyecto procede de un **concurso** planteado entre abril y junio de 2020, **en plena pandemia**, lo que acabó afectando al desarrollo del programa.

De tal manera que el programa de una escuela clásica muta para adecuarse a las condiciones impuestas por la emergencia sanitaria, pidiendo a los arquitectos importantes consideraciones al respecto.

El complejo tiene que componerse de diversos grados de formación, incluyendo los siguientes **equipamientos**:

- escuela materna para 180 niños
- escuela primaria para 250 alumnos
- escuela secundaria para 150 alumnos
- comedor escolar para parte del total de alumnos
- biblioteca
- pabellón polideportivo
- áreas de aparcamiento



## Escuela Sant'Anna

*Respuesta a las características del emplazamiento y a los requisitos para el proyecto y su realización.*



### Condiciones de proyecto

#### Construcción por fases

Un requisito importante de las bases de concurso es el de permitir la realización del complejo escolar por fases por motivos de viabilidad económica. De aquí nace la idea del **proyecto en distintos pabellones** que permitirían, además, la ejecución de otras fases sin condicionar el funcionamiento de la escuela.

#### Topografía del solar

El solar se sitúa en un área verde libre y caracterizada por una pendiente constante al 7%. La idea es **adaptar los edificios al terreno natural** lo máximo posible, evitando grandes movimientos de tierra.

#### Reacción a eventos sísmicos

Es importante hacer frente a eventos sísmicos típicos de la zona. Por esto el proyecto, de **una única planta**, se basa en un módulo estructural constante compuesto por un armazón de **pilares y vigas de madera**.



## Escuela Sant'Anna

*Propuesta arquitectónica para un espacio educativo y formativo hacia el mañana de las futuras generaciones.*

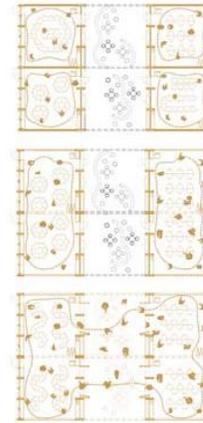
### El proyecto

#### La distribución en los edificios

A las tres escuelas (materna, primaria y secundaria) se aplica la misma lógica funcional, la cual se refleja en un carácter y unas huellas muy parecidas entre sí. La administración y los espacios de trabajo de los profesores y de servicio se ubican a un lado de la entrada, y por el otro se desarrolla el edificio escolar con las aulas, los talleres, y los espacios de juego y de encuentro que dan a un patio verde interior.

#### La importancia del espacio de juego y de relación

El aspecto más innovador y que más destaca es el del espacio de circulación que viene de diversas consideraciones arquitectónicas, educativas y prácticas. Se da mucha importancia a un espacio que normalmente sería de servicio, que en cambio en el proyecto se perfila como el espacio ideal para el intercambio, el juego, y las actividades conjuntas entre las distintas clases, en un **espacio muy acogedor por su amplitud**



y volumen con una cubierta inclinada **que proporciona mucha cantidad de luz y de aire fresco** por medio de aberturas oportunamente orientadas y dimensionadas. Además el espacio **tiene la función de mejorar las condiciones climáticas del edificio** y por esto constituye una importante etapa de estudio. El atrio se revela de mucha utilidad a la hora de tener que hacer frente a futuras cuestiones sanitarias, en términos de ventilación natural e intercambio de aire, y de aprovechamiento del máximo espacio posible.

#### La flexibilidad del módulo de las aulas

Las aulas y los talleres caben en un **módulo estructural cuadrado**, con capacidad de ajustarse a los submódulos que siguen el ritmo de fachada con el fin de ampliarse/dividirse según futuras necesidades, intercambiarse entre sí, o **agilizar cambios rápidos** para hacer frente a una crisis sanitaria, favoreciendo la ampliación de los espacios o según se requiera.





Escola Sert. Posgrado Sostenibilidad y Arquitectura. MIO. Taller de proyectos // Ilaria Caprioli. Lorenzo Marchi. Maria Assis Ferreira. María José Marínez. // Caso de estudio: Escuela Sant'Anna, Bevagna

*La Escuela Sant'Anna es un equipamiento con vocación territorial. En la valoración del del total de emisiones de CO<sub>2</sub>, impacto ambiental de su funcionamiento, la movilidad asociada es un factor de peso, que puede constituir parte importante*

## El lugar

### Estructura urbana y movilidad

La Escuela presenta una vocación de equipamiento multifuncional y con área de influencia extendida a pueblos vecinos.

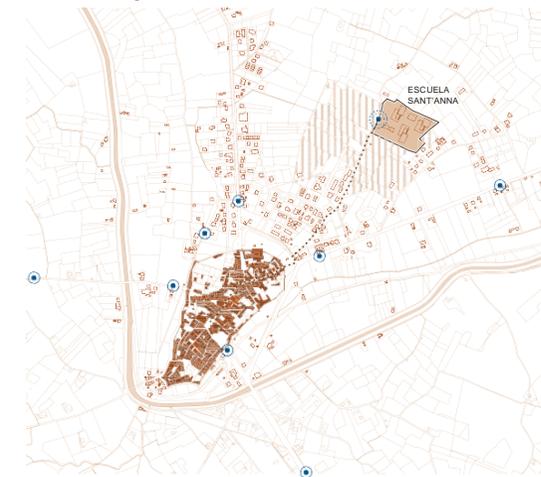
El concurso proponía construir la escuela en un solar fuera del núcleo histórico del pueblo, en una zona con previsión de expansión urbana para los próximos años. Esta descentralización del equipamiento permitiría conseguir la superficie necesaria para construir una escuela para todos los ciclos escolares, pero acarrea la necesidad de recorrer distancias superiores para la mayoría de alumnos. Sin embargo, valorando este aspecto y otras ubicaciones posibles, consideramos que:

- No parece viable localizarlo en solares más cercanos al centro urbano, que o no tienen las dimensiones requeridas o presentan riesgo de inundabilidad;
- La mayoría de zonas de Bevagna se encuentran dentro de un radio de 15 minutos caminando y 4 minutos en bicicleta;

- La descentralización en relación al núcleo de Bevagna se relativiza teniendo en cuenta usuarios de otras poblaciones.

De este modo, proponemos mantener el solar inicialmente considerado. La reducción del impacto de CO<sub>2</sub> se debe entonces centrar en el tipo de movilidad asociada a la urbanización dispersa, con el refuerzo de las redes de transporte público escolar y tratamiento del perfil de los accesos principales de la escuela, haciéndolos seguros para bicicleta y peatones. Se propone ampliar la oferta de transporte público y crear una nueva parada de bus cerca de la escuela. Se ha valorado también utilizar otros equipamientos de Bevagna de forma complementaria, compartiendo recursos. Finalmente se descarta esta opción, por entender que actualizar los equipamientos a las exigencias sísmicas actuales es fundamental. En este sentido, se podría, inversamente, exigir de la Escuela Sant'Anna la multifuncionalidad y polivalencia de un equipamiento municipal que trascienda el uso escolar.

Plano de Bevagna

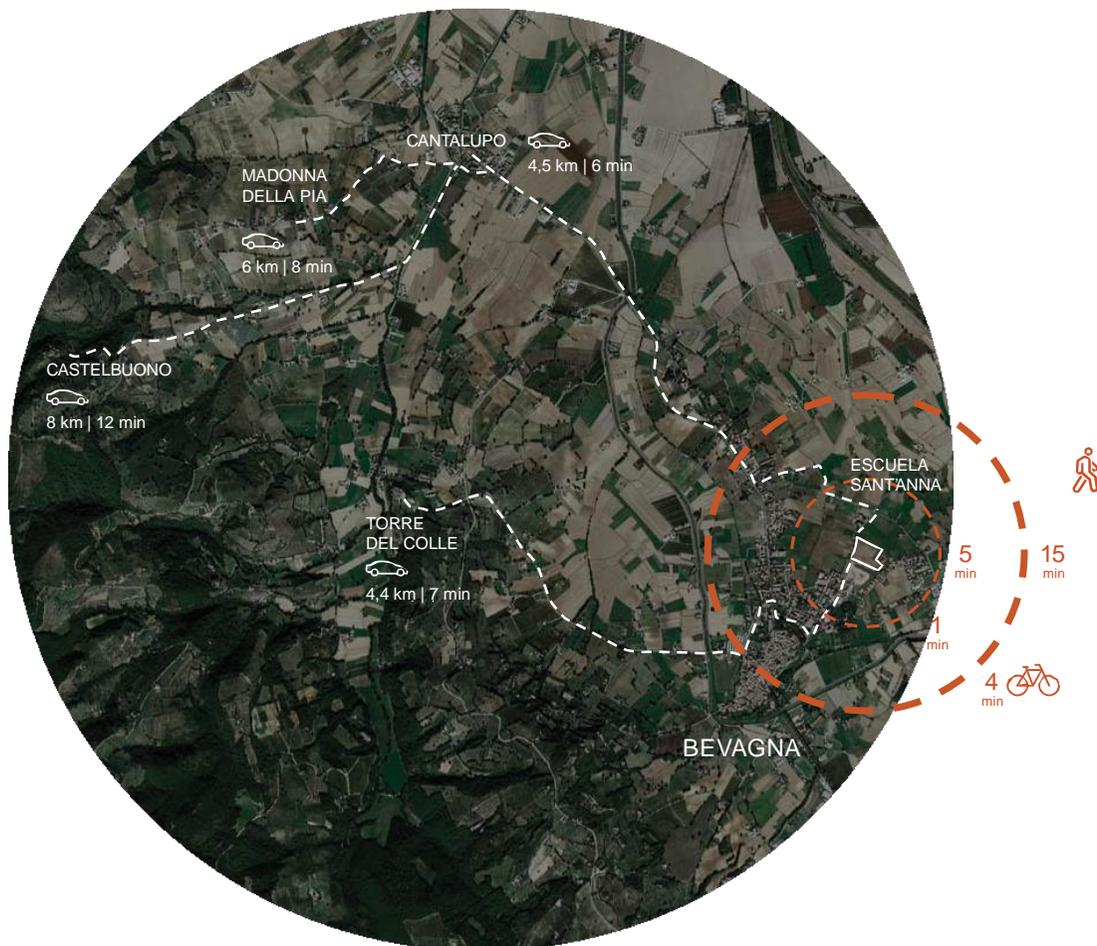


Estado actual



Propuesta

Via Sant'Anna, principal acceso a la Escuela



Contexto territorial de la comuna de Bevagna y de la Escuela Sant'Anna. Tiempos, distancias y formas de movilidad

La comuna de Bevagna tiene una población de 4921 habitantes, siendo 90% de estos del pueblo de Bevagna, 6,7% de Cantalupo y los restantes 3,3% repartidos entre las *frazioni* de Castelbuono, Gaglioli, Limigiano y Torre del Colle. La población escolar (estudiantes, profesores y auxiliares) es actualmente de 529 personas, aunque la nueva escuela podría acoger hasta alrededor de 700.

Si consideramos estos **529 usuarios** repartidos entre la población de las distintas poblaciones, alrededor de 36 vendrían de Cantalupo. Además, podemos establecer que un porcentaje de los estudiantes de Bevagna, eventualmente 50% de los de educación primaria - 76 alumnos - (que se encuentren más lejos de la escuela o en viviendas dispersas) podrían también recurrir a la movilidad motorizada para el trayecto escolar.

#### Algunos datos:

**180 días lectivos anuales**

**2 trayectos diarios**

**1,95 MJ / km** - media consumo energético de coches en Italia (2018)

**15 MJ / km** - media consumo energético de buses (2014)

**26 usuarios de Cantalupo (4,5 km)**

**76 usuarios de Bevagna que utilicen transporte motorizado (1,5 km)**

Teniendo en cuenta estos datos, la movilidad motorizada privada podría suponer un consumo energético de **191 852 MJ anuales**.

Si sustituimos los trayectos en coche desde Cantalupo por un único trayecto en bus y planteamos que también la mitad de los usuarios de Bevagna pueda hacer el trayecto en bus, este consumo se reduciría en un **87%**, a **24 279 MJ anuales**.

## Materiales y ciclo de vida

### 5 estrategias en la valoración de los materiales de proyecto.



M: Madera  
U: Estructura de madera laminada  
P: Regional



M: Fibra de cañamo  
R: Aislamiento térmico y acústico interior y exterior  
P: Local



U: Tierra de excavación  
R: Cubierta verde, recorridos en tierra compactada  
P: Local



M: Madera  
U: Revestimientos interiores  
P: Regional



M: Hormigón  
U: Solera y pavimentación de hormigón pulido  
P: Regional

M: Material  
U: Uso  
R: Reutilización  
P: Procedencia

#### 1. Cerrar ciclos

El cierre de ciclos es un **criterio fundamental** en la elección de materiales que produzcan un **bajo impacto ambiental**, en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, de energía y medios empleados en su extracción y fabricación, y de generación de residuos. En este sentido resulta positivo y de suma importancia usar el recurso de **materiales reciclados** y/o que se conozca su reciclabilidad en el futuro.

Asimismo, algunos materiales durante su ciclo de vida son capaces de **absorber un porcentaje de anhídrido carbónico igual o superior al emitido en las fases de su ciclo de vida** {extracción y fabricación, transporte, puesta en obra, mantenimiento y fin). Estos mismos pueden tener muy buenas propiedades útiles al buen estado de salud del edificio, y por esto resultan de gran valor.

**Aprovechar los residuos** como materias primas o secundarias hace que viejos materiales se vuelvan a introducir en el ciclo. No obstante, el objetivo principal es disminuir la deposición de residuos, reduciendo y reutilizando.

#### 2. Reducir

Al optimizar la solución tecnológica a adoptar, por ejemplo, calculando el tipo y cuantía exacta de material que necesitamos para componer una envolvente que funcione - sin que resulte sobredimensionada- permite **reducir la porción de material, así como la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>** por medio de materiales cuya producción comporte un bajo impacto o que sean capaces de absorber anhídrido carbónico durante su vida.

#### 3. Reutilizar

Reutilizar hace que un material no se convierta en residuo y que, de lo contrario, pueda **seguir su ciclo de vida**. Esto evita que se tenga que producir nuevos materiales, con todo lo que comporta en términos de impacto ambiental. Para favorecer la reutilización de materiales la mejor opción constructiva es la de **construir en seco**, como estructuras y componentes en **madera** o de montaje mecánico, y descartando sistemas no reciclables o de difícil reciclabilidad.

#### 4. Durabilidad

A veces, para entender el impacto real de un material, puede no ser suficiente calcular el impacto en su fase más importante y penalizante, la de realización, sino que hay que saber a lo largo del ciclo de vida del edificio **la frecuencia y tipo de mantenimiento a realizar**, o incluso **sustitución**, en el peor de los casos, lo que daría lugar a nuevas acciones constructivas o a la generación de un nuevo material, multiplicando así su impacto en el tiempo.

#### 5. Material de proximidad

Buscar una **conexión con el lugar de proyecto** a través de la materialidad ayuda a establecer continuidad con el lugar y con su tradición, a generar una marca reconocida en el territorio, y por ejemplo a reducir o incluso anular las distancias a recorrer, contribuyendo a la **disminución del impacto ambiental**. Para fomentar la economía local del proyecto de estudio un material totalmente valido es el **cañamo**, de producción local, que aporta muchos beneficios al ciclo de vida del edificio.

## Recursos locales

### El cáñamo como material de construcción.

#### Calidades y tradición del material

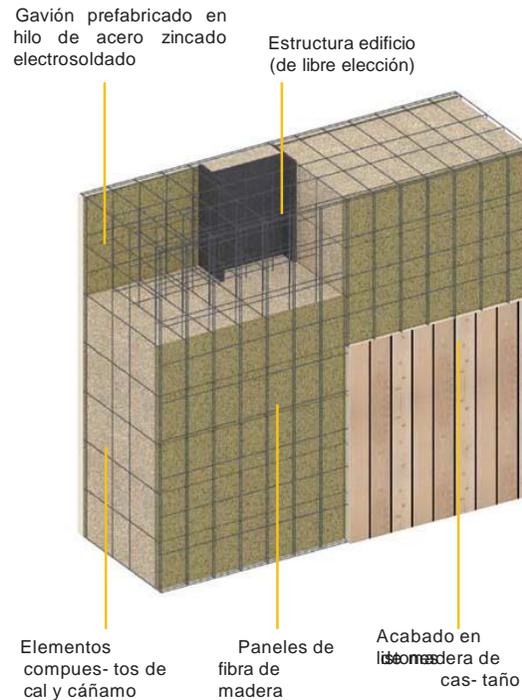
##### La tradición del lugar

Hasta los años 50 Italia era la segunda productora de cáñamo en el mundo, y Bevagna en concreto es conocida todavía para sus tejidos y papel de cáñamo de alta calidad. **En la comuna siguen la tradición** tanto pequeños artesanos como grandes productores de tejidos y de otros elementos.

##### Calidades ambientales del cultivo

El cultivo de cáñamo presenta por sí mismo algunos aspectos interesantes y de calidad con respecto a los efectos benéficos en el medio ambiente. Es una **plantación altamente resistente**, capaz de crecer sin pesticidas ni herbicidas, incluso sin abono, con lo cual permite **eliminar el uso de sustancias tóxicas** durante todo su ciclo de crecimiento.

Además, **oxigena el terreno** en el cual crece y lo bonifica, absorbiendo zinc y mercurio. En cuanto a absorción resulta un **gran captador de CO<sub>2</sub>**, absorbiendo



do más de la cantidad necesaria en su proceso de conversión a elemento de uso, en el cual **se puede aprovechar por entero**, desde sus semillas para uso alimentario, su parte fibrosa para los tejidos, hasta su parte leñosa para la construcción.

##### Calidades en la construcción

El cáñamo como material de construcción se encuentra bajo forma de paneles y bloques en fibra de cáñamo, se utiliza como elemento aislante añadido para morteros y pinturas, normalmente mezclados en compuestos de cáñamo y cal reciclables.



En el proyecto de la escuela el uso del cáñamo se favorece como **elemento fundamental de la envolvente**, en la cubierta como aislante (como panel de fibra), y sobre todo en el paramento vertical, donde constituye el alma de la fachada.

**Sus propiedades aislantes son relevantes**, y permiten ahorrar mucho material de construcción convencional. Un **sistema constructivo** como el de la propuesta es de **fácil montaje, en seco, completamente reutilizable** y casi del todo reciclable.

El **valor de las emisiones de CO<sub>2</sub>** durante su ciclo de vida puede considerarse **nulo**, en virtud de su alta capacidad de absorción durante toda su vida.

## Definición de la envolvente

### Cierre de ciclos de las soluciones constructivas.

Definición y optimización de la envolvente a partir del coeficiente de transmitancia U en la zona climática de pertenencia (D).



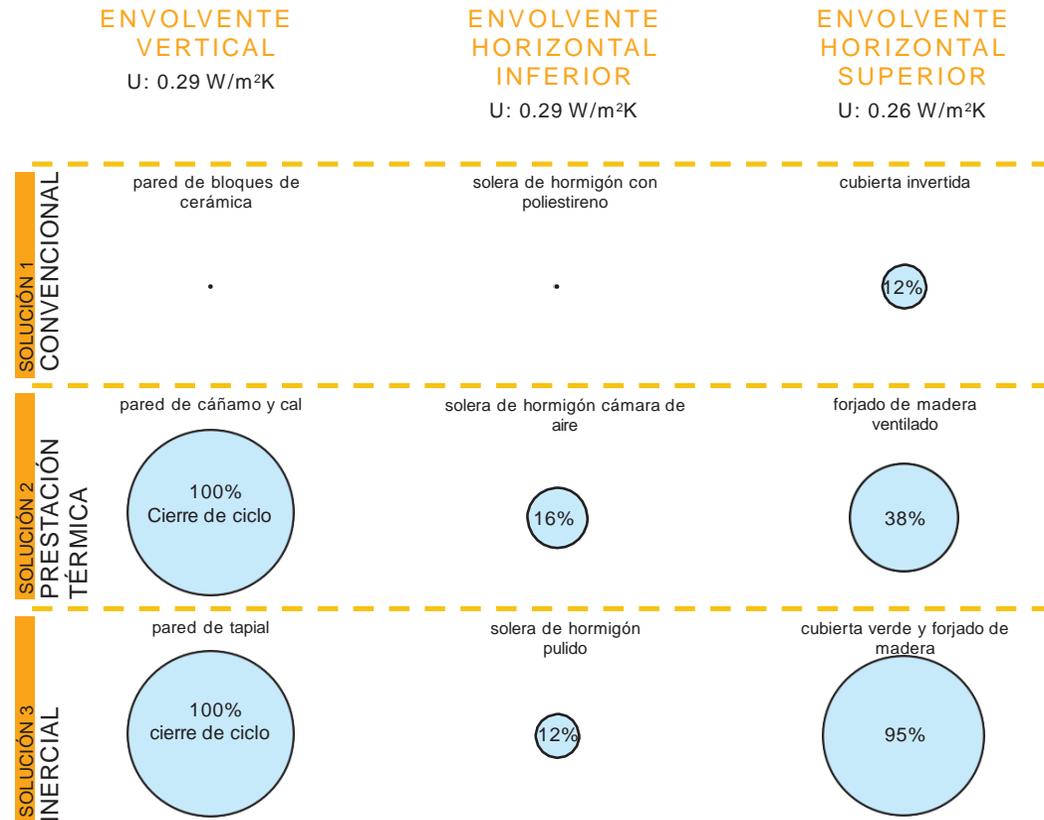
### Cierre de ciclos

El punto de partida del estudio práctico de los materiales de proyecto es el conocimiento del valor de **transmitancia térmica** de referencia por ley, aplicado según la zona climática del lugar. Esto permite no sobrestimar la solución constructiva, optimizando la composición tecnológica de la envolvente - caso de estudio más relevante.

Por cada caso se estudia una triple solución según una idea precisa, comparar entre sí:

- una solución de tipo **convencional**
- una con materiales de altas **prestaciones térmicas**
- una de tipo **inercial**

En la comparativa de al lado las burbujas en **azul** son un elemento **positivo** (cuanto más grande mejor), e indican el porcentaje de **material reciclable que cierra los ciclos** contenido en cada una de las opciones. Resulta evidente como **la solución de tipo convencional nunca es ganadora**.



## Definición de la envolvente

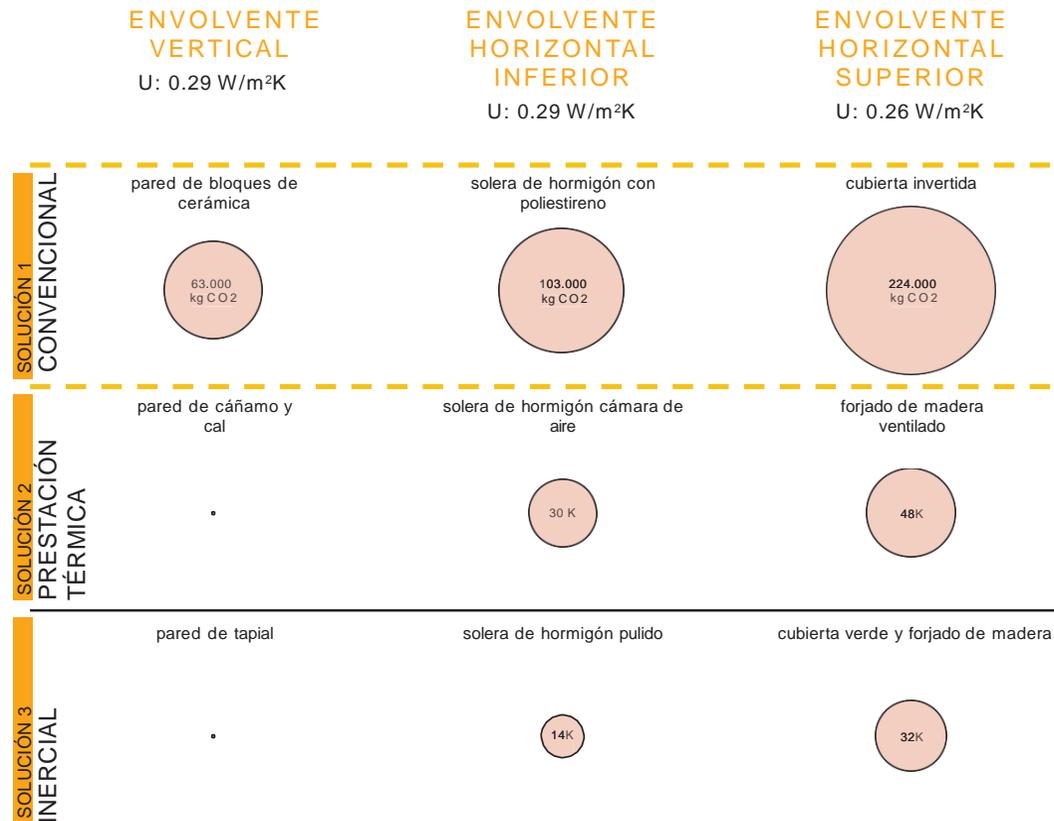
### Emisiones de CO<sub>2</sub> de las soluciones constructivas.

#### Emisiones de CO<sub>2</sub>

El mismo estudio permite analizar los **niveles de CO<sub>2</sub>** producidos por las emisiones en fase de extracción y fabricación del material, que es la parte más relevante y de peso del impacto ambiental.

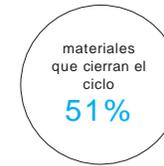
En este caso las burbujas en **rojo** de a lado son un dato **negativo** (cuanto más grandes peor), ya que indican el impacto de las **emisiones de CO<sub>2</sub>** en la realización del edificio según cada componente.

Por ejemplo, la cocción de un material cerámico incide bastante en negativo comparado con un material natural como el cáñamo o el tapial en fachada, además de obligar a recurrir a un material aislante, como podría ser el poliestireno expandido, en lugar de aprovechar las propiedades de otros materiales naturales de mucho menor impacto (si no nulo). Lo mismo vale para una estructura en hormigón armado en vez de una de madera, reciclable y de infinito menor impacto en términos de CO<sub>2</sub>. El resultado es que **las soluciones innovadoras reducen increíblemente el impacto.**



## Envolvente

### Estudio del impacto ambiental de los materiales utilizados



## Resumen del impacto ambiental

En la tabla de al lado se indican los **resultados del estudio sobre las soluciones escogidas** para los materiales de proyecto. Se analiza la **cantidad de material necesaria** para cada solución, y según las propiedades de los materiales y de los productos de construcción cuantifica la **energía incorporada** (en MJ) y de **emisio- nes de anhídrido carbónico** (en kg de CO<sub>2</sub>). Un análisis cualitativo pone en luz las características de **man- tenimiento** y de potencial **cierre de ciclo** de cada uno.

En la **fachada** favorecen las altas **prestaciones tér- micas del cáñamo** y su capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>. La **solera** ofrece mejores datos en el caso de una solu- ción térmica, sin embargo, la elección recae en la op- ción **inercial**, debido a un mejor funcionamiento del hormigón pulido árido reciclado visto en fase de estudio de la gestión energética del edificio. La **cubierta verde** proporciona la **inercia térmica** y los mejores datos, así como la **estructura de madera** en lugar de una de hormigón, o un **tabique en seco** en vez de ladrillos.

solución térmica

solución inercial

solución inercial

SISTEMA CONSTRUCTIVO Y SOLUCIÓN TECNOLÓGICA	ESPESOR	DENSIDAD	PESO	SUPERFICIE	TOTAL PESO	TOTAL ENERGÍA	TOTAL EMISIONES	INCIDENCIA	DURABILIDAD	CIERRE DE CICLO
	m	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kg	MJ	kgCO <sub>2</sub>	%	±	%
<b>FACHADA</b>										
<b>PARED DE CÁÑAMO Y CAL</b>					165.070,40	778.325,52	-			100%
Lonjones de madera					9.582,40	95.824,00	-	0%	+	
Panel de fibra de madera (x2)	0,02	150,00	3,00	1.808,00	5.424,00	22.238,40	-	0%		
Compuesto de cáñamo y cal	0,37	420,00	155,40	904,00	140.481,60	660.263,52	-	0%		
Tablero de madera laminada	0,02	530,00	10,60	904,00	9.582,40	95.824,00	-	0%	+	
<b>SOLERA</b>										
<b>SOLERA DE HORMIGÓN PULIDO ÁRIDO VISTO</b>					880.401,00	383.714,10	14.415,60			12%
Mortero de hormigón pulido	0,05	2.000,00	100,00	1.758,00	175.800,00	4.746,60	527,40	4%	+	
Solera de hormigón	0,15	2.000,00	300,00	1.758,00	527.400,00	4.746,60	527,40	4%		
Panel de fibra de madera	0,02	150,00	3,00	1.639,00	4.917,00	20.159,70	-	0%		
Hormigón pobre	0,05	760,00	38,00	1.758,00	68.804,00	354.061,20	13.360,80	93%		
Grava	0,20	1.500,00	60,00	1.758,00	105.480,00	-	-	-		
<b>CUBIERTA</b>										
<b>CUBIERTA VERDE Y FORJADO DE MADERA</b>					547.835,75	717.062,50	19.866,30			95%
Capa de sustrato de vegetación	0,25	1.200,00	300,00	1.639,00	491.700,00	183.568,00	-	0%	+	
Poliéstereno de filtración (tela no tejida)	0,02	31,00	0,62	1.639,00	1.016,18	7.293,55	327,80	2%		
Capa drenante con acúmulo hídrico	0,05	150,00	7,50	1.639,00	12.292,50	20.159,70	1.229,25	6%		
Poliéstereno de protección mecánica	0,01	31,00	0,31	1.639,00	508,09	7.293,55	327,80	2%		
Capa de protección al agua	0,01	662,00	6,62	1.639,00	10.850,18	183.568,00	13.802,00	69%		
Panel de fibra de cáñamo	0,12	60,00	7,20	1.639,00	11.800,80	20.159,70	1.229,25	6%		
Entarimado de madera	0,02	600,00	12,00	1.639,00	19.668,00	295.020,00	2.950,20	15%	+	
<b>ESTRUCTURA</b>										
<b>ARMAZÓN DE MADERA</b>					34.920,00	-	-			100%
Pilar de madera laminada	0,16	3,00	23,04	500,00	11.520,00	-	-	0%		✓
Viga de CLT	0,08	585,00	46,80	500,00	23.400,00	-	-	0%		✓
<b>TABIQUERÍA</b>										
<b>TABIQUE EN SECO</b>					12.780,00	18.886,00	-			100%
Contrachapado de madera (x2)	0,12	7,50	18,00	530,00	9.540,00	16.218,00	-	0%	+	✓
Panel de fibra de cáñamo	0,36	7,50	54,00	60,00	3.240,00	648,00	-	0%		✓
					<b>TOTAL PESO</b>	<b>TOTAL ENERGÍA</b>	<b>TOTAL EMISIONES</b>			
					1.641.007,15	1.895.968,52	34.281,90			

## Una escuela nZEB?

La consideración de las particularidades climáticas de Bevagna y de las necesidades de uso de la Escuela Sant'Anna son el primer paso para rediseñar el edificio teniendo como objetivo la reducción de la demanda.

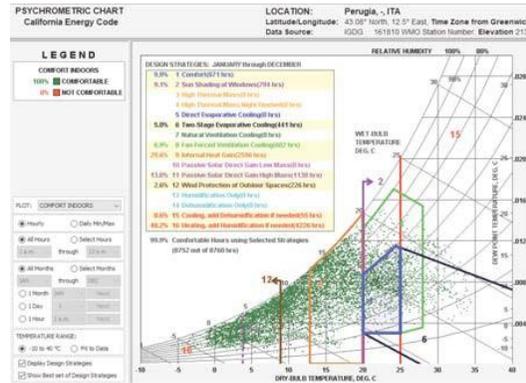
### El lugar

#### Condiciones climatológicas

Localizada en la zona central de Italia, en la provincia de Perugia, Bevagna es caracterizada por sus inviernos rigurosos, y períodos de verano con momentos de temperaturas altas. Tiene una temperatura media anual de 13.5 Cº y las temperaturas oscilan entre los -6 Cº (febrero) y los 34 Cº (julio). Los vientos dominantes provienen del cuadrante nordeste (invierno y verano) y suroeste (verano).

#### Criterios de confort y estrategias de diseño

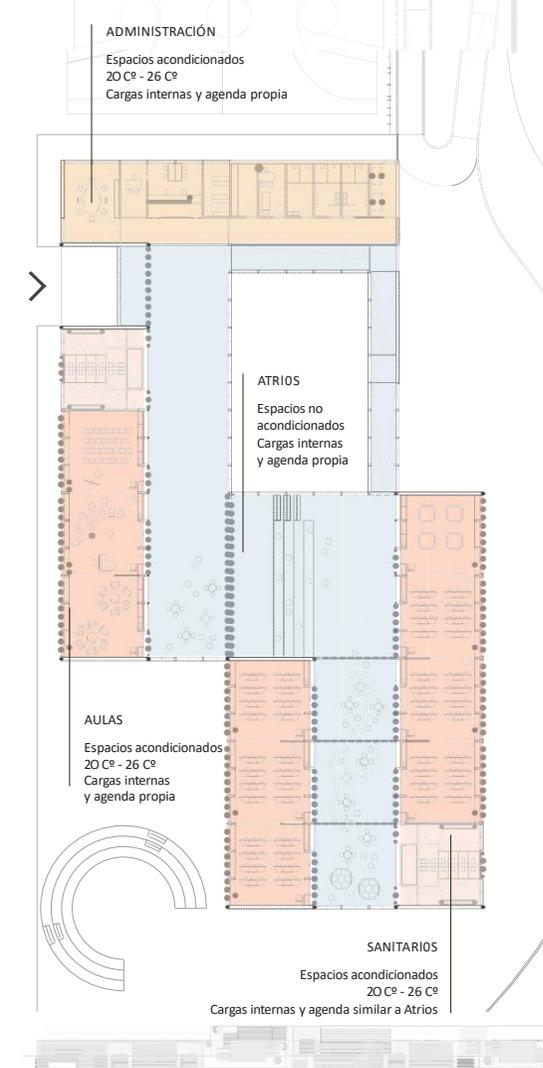
Introduciendo los datos climáticos de la estación más cercana (Perugia) en el programa **Climate Consultant**, y definiendo un conjunto de criterios de confort - rango de temperaturas y de humedad relativa -, obtenemos una primera fotografía que nos indica qué estrategias de diseño nos pueden ayudar a conseguir un comportamiento bioclimático del edificio. Observamos que las existe una mayor necesidad de cale-



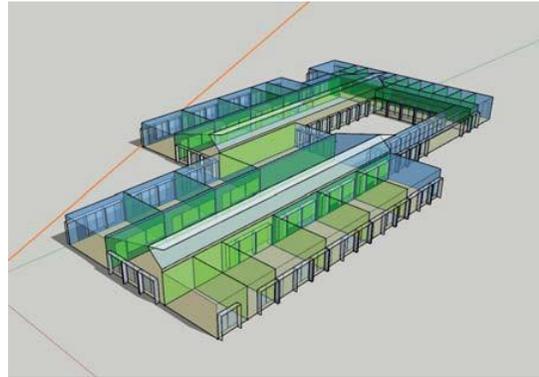
facción en este clima, y que el edificio estaría pasivamente en confort apenas el 9,9% del año. Nos apunta como buenas estrategias pasivas a implementar, por orden de impacto: el aprovechamiento de las ganancias internas (29,6%), las ganancias solares en invierno (13%), las protecciones solares de ventanas en verano (9,1%), ventilación en verano (6,9%) y protección del viento en invierno (2,6%).

Paralelamente, y para acotar el ejercicio, se escoge uno de los pabellones de la Escuela, que se modelizará en **OpenStudio/EnergyPlus**. Hacemos una reflexión sobre su programa, que nos conduce a la definición de usos a lo largo del día y del año y de los diferentes niveles del confort de los espacios. Se fijan cargas y agendas de ocupación para personas, iluminación y equipos. Los bloques de aulas y administración tendrán un funcionamiento casi continuo de 9h a 18h que exige un nivel de confort fijado entre los 20 y los 26 Cº. Los atrios, por su parte, serán espacios de uso discontinuo, de mayor solicitud en las pausas entre clase, y que se plantean como grandes espacios no acondicionados -bioclimáticos- con un grado de confort intermedio entre las aulas y el exterior.

### Escuela Primaria - Pabellón tipo



La modelización energética permite hacer un primer diagnóstico del comportamiento energético de la propuesta de concurso. Los resultados nos dan pistas sobre los parámetros de diseño que pueden ser optimizados y que estrategias bioclimáticas seguir.



#### El modelo energético como herramienta de trabajo

Para analizar con profundidad el impacto de las decisiones de proyecto, decidimos modelar el edificio en **SketchUp** para introducirlo en **OpenStudio**. Asignándole datos como el clima de Bevagna, cargas y agendas de ocupación, características de la ventilación, o composición de los cerramientos, podemos obtener un primer diagnóstico del comportamiento del edificio.

#### Definición de estrategias bioclimáticas previas

Además de una geometría determinada que tiene origen en la propuesta de concurso, se concretan un conjunto de medidas que le añaden detalle y que pueden mejorar el comportamiento bioclimático del edificio, sobretodo en los meses cálidos:

- Protecciones solares fijas
- Protecciones solares móviles en verano (70% en ventanas, 100% claraboyas)

- Ventilación natural de los Atrios (nocturna, en verano, controlada por condiciones de temperatura) - 15 ren/h

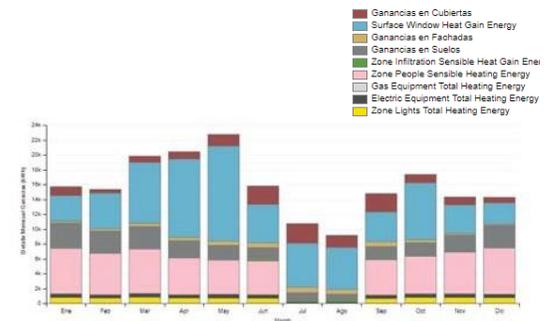
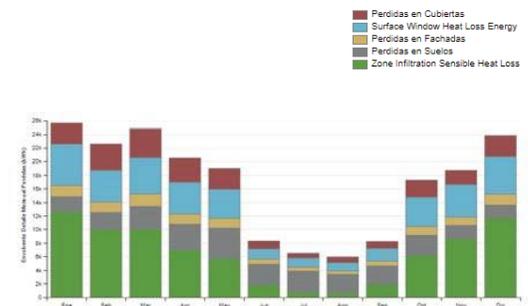
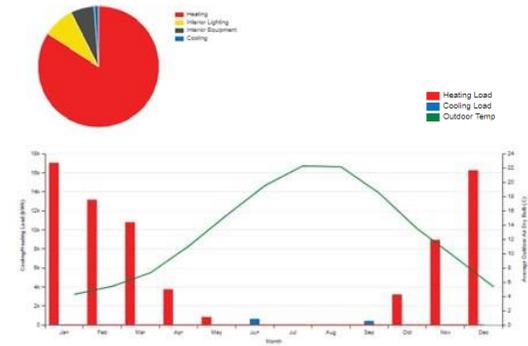
- Ventilación natural de las Aulas controlada por condiciones de temperatura

#### Principales conclusiones

Fruto de esta primera simulación, confirmamos el gran impacto de la calefacción en la demanda anual, que asciende a **49,83 kWh/m<sup>2</sup>** en su totalidad.

Se observan importantes **pérdidas en invierno por ventilación** y en algunos cerramientos, como **suelos y cubiertas** (debido, sin duda, al factor de forma del edificio), así como en **ventanas**.

Observamos también el **impacto positivo de las ganancias internas** y de las **ganancias solares**. Éstas últimas, sin embargo, tienen una variación estacional poco ventajosa que se podría modular.



## Objetivos

*Reducir la demanda y asegurar el confort relativo de los espacios no acondicionados*

### Parametrizar para optimizar

#### Variantes del modelo energético

Buscando soluciones para reducir la demanda sin renunciar a las condiciones de confort y salubridad definidas en primer lugar, nos proponemos ensayar y simular alternativas. Hacemos el modelo variar de acuerdo con cuatro ejes: la ventilación por salubridad, la materialidad - composición de cerramientos -, la geometría de las cubiertas de los atrios y, en una segunda fase, las agendas de ocupación para considerar un uso extendido de la escuela como centro cívico.

En el esquema lateral podemos observar las hipótesis de trabajo y alternativas de la simulación, así como las condiciones de partida, que corresponden a la simulación de referencia, marcadas a negro.

#### GEOMETRÍA DE LOS ATRIOS

##### A

Orientación de claraboyas a sureste

##### B

Orientación de claraboyas a sureste + superficie

##### C

Orientación de claraboyas a suroeste

#### VENTILACIÓN POR SALUBRIDAD

##### Exterior

- 10 l/s/persona en horario de ocupación

- 7,5 l/s/persona en horario de ocupación

##### A través de atrios

- 7,5 l/s/persona en horario de ocupación

- 10 l/s/persona en horario de ocupación

#### MATERIALIDAD

##### Aislante

cubierta mejorada U: 0.184 W/m<sup>2</sup>K

huecos mejorados U: 2.00 W/m<sup>2</sup>K

##### Inercial

cubierta mejorada U: 0.19 W/m<sup>2</sup>K

huecos mejorados U: 2.00 W/m<sup>2</sup>K

##### Mixta

cubierta mejorada U: 0.184 W/m<sup>2</sup>K

huecos mejorados U: 2.00 W/m<sup>2</sup>K

#### AGENDAS DE OCUPACIÓN

##### Escolar 1

- Ocupación constante exceptuando sábados, domingos, julio y agosto.

##### Escolar 2

- Ocupación constante exceptuando sábados, domingos, períodos de vacaciones de dos semanas en navidad y semana santa, julio y agosto

##### Centro Cívico

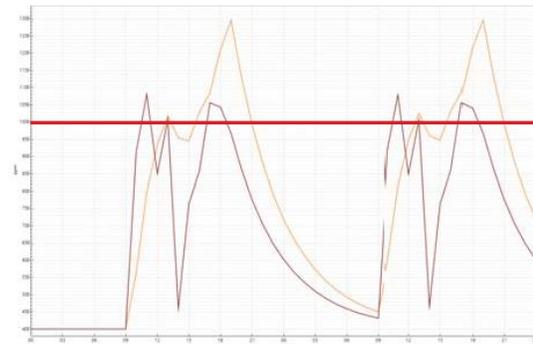
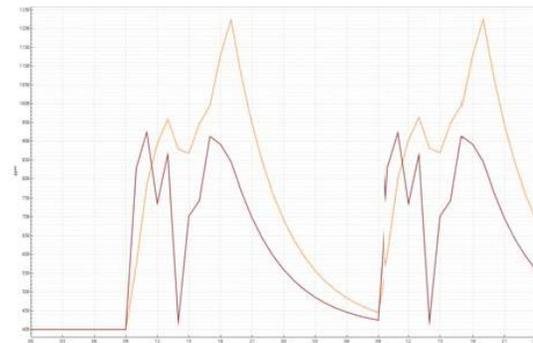
- Ocupación constante entre semana, mañana de sábado. Sin períodos de vacaciones

## Ventilación por salubridad

### Estrategias:

Reducción del caudal de ventilación.

Conducción previa del aire exterior a través de los atrios.



Valores de CO<sup>2</sup> - ventilación exterior. Arriba, 10 l/s/persona, abajo 7,5 l/s/persona Aulas y Administración

### Reducción del caudal

La reducción del caudal de ventilación permite importantes reducciones de la demanda.

Reducir la ventilación exterior de 10 l/s/persona a 7,5 l/s/persona disminuye la demanda total de **49,83 kWh/m<sup>2</sup>** a **43,17 kWh/m<sup>2</sup>** anuales.

Esto se hace sin comprometer la calidad del aire interior, ya que los niveles de CO<sub>2</sub> asociados se encuentran, por lo general, por debajo del **límite de las 1000 ppm** (en rojo) y con la reducción del caudal también, exceptuando momentos puntuales. Conceptualmente, se priorizan las estrategias de ventilación natural - de bajo coste, promotoras de usuarios activos y fácilmente adaptables a situaciones de crisis sanitaria.

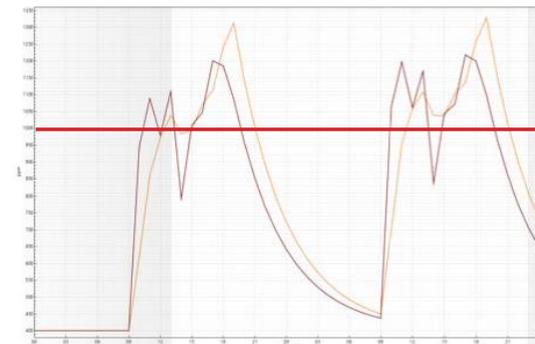
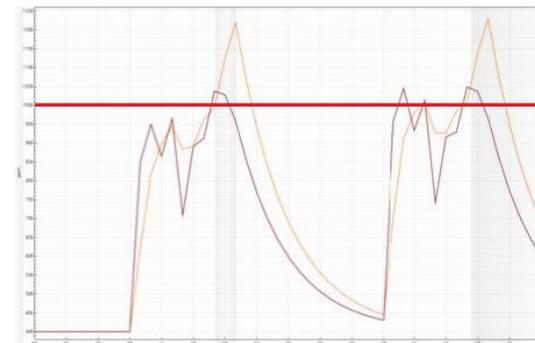
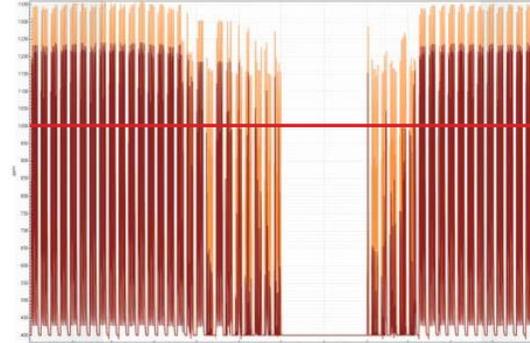
### El atrio como espacio atemperador

Conducir el aire exterior a través de los atrios antes de introducirlo en los espacios acondicionados produce una reducción de demanda todavía mayor, a **40,18 kWh/m<sup>2</sup>** anuales.

En este caso, la reducción de caudal también impacta en la reducción de la demanda aunque en menor grado, y con consecuencias más negativas para la calidad del aire. De 10 l/s/persona a 7,5 l/s/persona, observamos una reducción de la demanda de **40,18** a **36,43 kWh/m<sup>2</sup>** anuales.

Ponderando los dos factores (demanda y calidad del aire) llegamos a la conclusión de que ventilar a través de los atrios es una estrategia con evidentes beneficios energéticos, sin abdicar de una buena calidad del aire cuando el caudal del intercambio es elevado (10 l/s/persona).

Valores de CO<sup>2</sup> - ventilación a través de atrios. Arriba, variación anual



Segunda imagen, 10 l/s/persona; tercera imagen 7,5 l/s/persona

## Materialidad

*La solución constructiva inercial presenta mejores resultados en la reducción de la demanda, en relación a una solución aislante con valores de transmitancia térmica similares.*

### Aislamiento versus Inercia

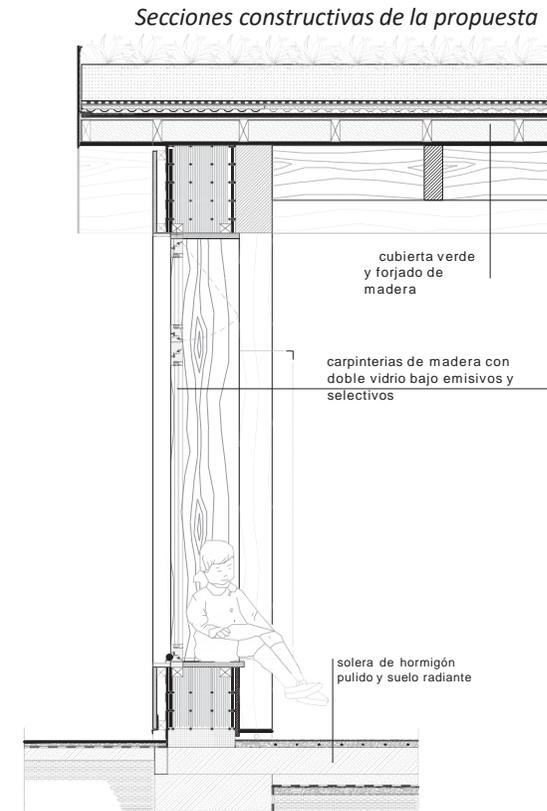
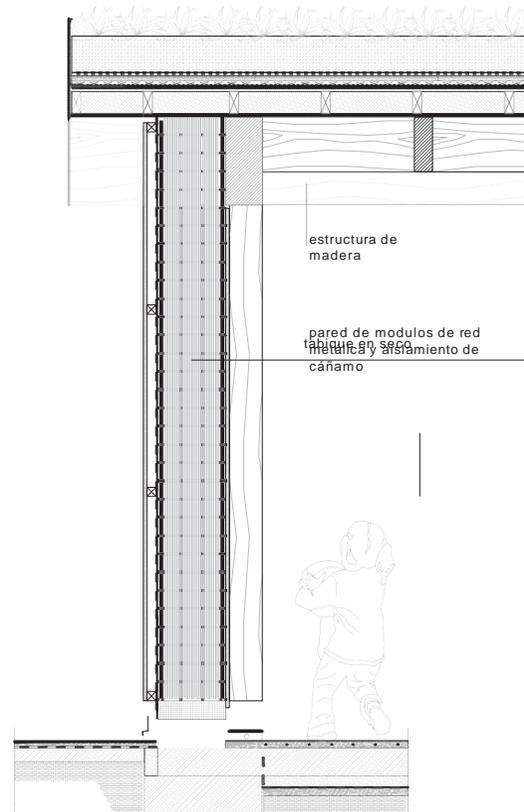
Tomando como punto de partida las soluciones constructivas desarrolladas teniendo en cuenta su impacto en la generación de CO<sup>2</sup> y de residuos, se simula su impacto en el rendimiento energético anual del edificio.

Todas las soluciones simuladas presentan valores similares de transmitancia térmica, por lo que se trata, especialmente, de evaluar el impacto de la inercia en el comportamiento del edificio.

Partimos de la simulación hecha teniendo en cuenta una solución constructiva aislante, con una demanda de referencia de **40,18 kWh/m<sup>2</sup> anuales**. Aplicando la opción inercial obtenemos una demanda de **39,08 kWh/m<sup>2</sup> anuales**, lo que nos apunta para una ventaja en emplear este tipo de materialidad.

### Una solución de compromiso

Para decidir finalmente la composición constructiva del edificio, hemos valorado otras cuestiones, tales como el impacto ambiental de los materiales, proximidad y tradición de producción, su capacidad de respuesta sísmica o aún su impacto en la superficie útil del equipamiento.



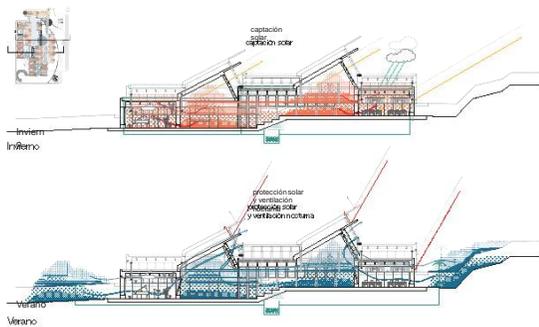
Por este motivo, optamos por mantener la solución aislante en fachada y parte de la cubierta, y proponer un porcentaje de cubierta y la solera inerciales: una solución mixta que nos conduce a una demanda intermedia (**39,87 kWh/m<sup>2</sup>**) entre las opciones aislante e inercial pero aporta globalmente más beneficios.

## Geometría

*Las alternativas geométricas buscan evaluar los impactos de la variación de la superficie acristalada y de la orientación de los lucernarios en la temperatura y confort de los atrios*

### Opción A - situación de referencia

El modelo original tenía asociadas determinadas estrategias bioclimáticas (ventilación natural y protecciones solares) que en algunos casos se mantienen y en otros se adaptan al cambio de geometría. Se busca maximizar el papel del atrio como gran espacio captor en invierno, sin causar pérdidas por superficie acristalada por las noches, o provocar su sobrecalentamiento en verano.



### Opción B

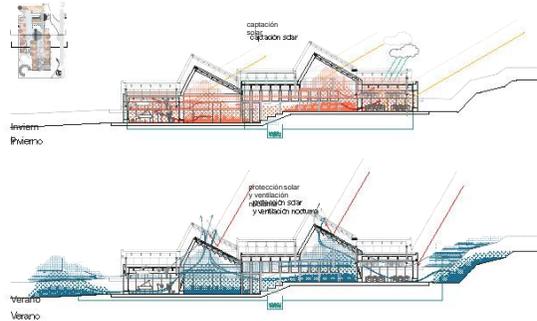
Se invierte el ángulo de las cubiertas manteniendo la orientación sureste de las claraboyas. Esto conduce a un aumento de superficie acristalada captora.

Se aplican también protecciones solares al modelo, ajustadas al mayor impacto de la incidencia solar:

- Protecciones solares móviles (70% en ventanas, en verano, 100% en claraboyas de 15 de marzo a 31 de octubre)

Se mantiene la ventilación natural controlada por condiciones de temperatura:

- Ventilación natural de los Atrios (nocturna, en verano, controlada por condiciones de temperatura) 15 ren/h
- Ventilación natural de las Aulas controlada por condiciones de temperatura

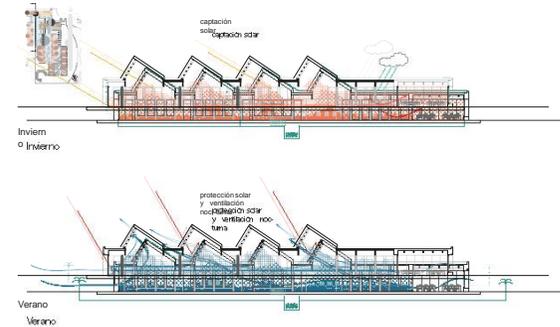


### Opción C

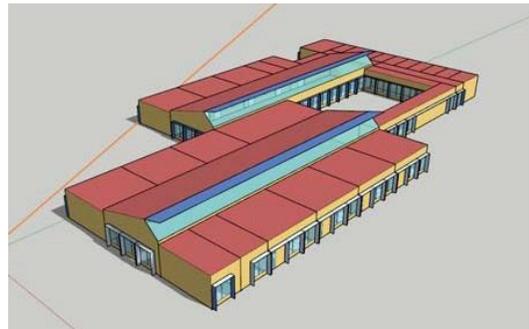
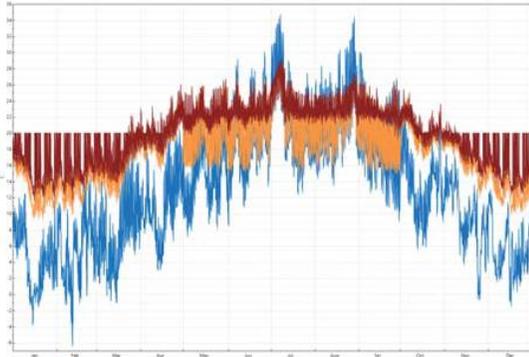
Se redibuja la cubierta que pasa a ser compuesta por más lucernarios, de menor dimensión y orientados a sureste. Este cambio podría aportar beneficios para la ventilación natural, ya que alinea las aberturas con una de las orientaciones dominantes del viento en verano.

Se aplican protecciones solares y estrategias de ventilación natural semejantes a las de la opción B:

- Protecciones solares móviles (70% en ventanas, en verano, 100% en claraboyas de 15 de marzo a 31 de octubre)
- Ventilación natural de los Atrios (nocturna, en verano, controlada por condiciones de temperatura) 15 ren/h
- Ventilación natural de las Aulas controlada por condiciones de temperatura

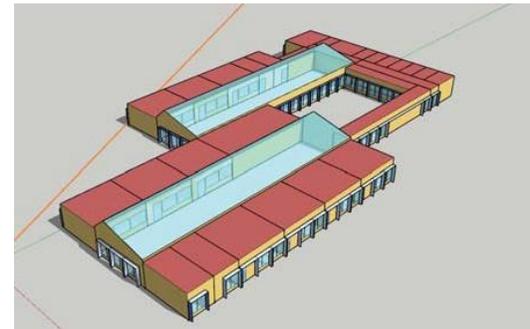
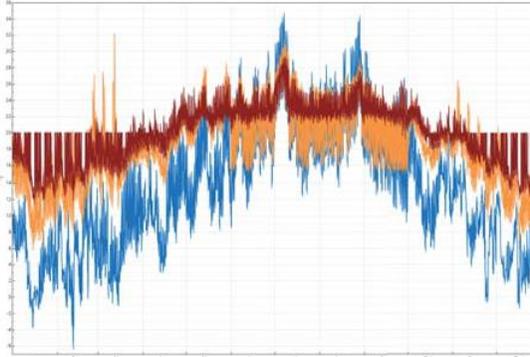


Variación de temperaturas (de -6° a 36°) a lo largo del año - opciones A, B y C Exterior, Aulas y Atrios



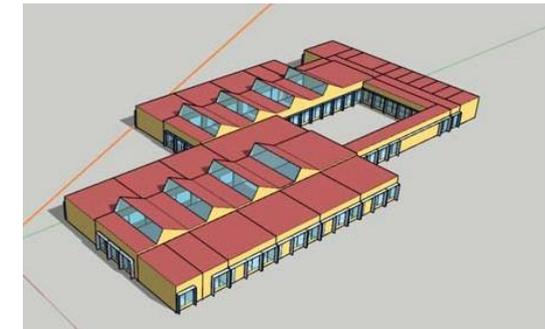
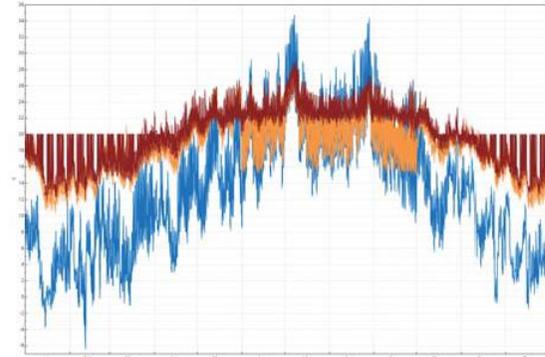
### Opción A

La opción A presentaba una demanda anual de **39,87 kWh/m<sup>2</sup>**. En los Atrios observamos temperaturas bastante superiores a las del exterior, aunque puntualmente llegaran a caer por debajo de los 10 C°. La ventilación natural y las protecciones solares previenen un sobrecalentamiento en verano. El intercambio de aire y la conductividad entre Atrios y Aulas implica que, aunque no sea espacios acondicionados, sus características térmicas tengan consecuencias relevantes en la demanda total del edificio.



### Opción B

Con esta opción observamos temperaturas más cálidas en las aulas en invierno, que conducen a una menor demanda - **37,37 kWh/m<sup>2</sup>** anuales. Sin embargo, esto es resultado de una gran oscilación horaria de pérdidas y ganancias a través de los lucernarios. Los días son más cálidos pero las noches y mañana muy frías. Existe también una gran oscilación estacional y diaria de temperaturas en los Atrios, lo cual empeora sus condiciones de confort y los inviabiliza en tanto que espacios de uso regular complementario.



### Opción C

Orientando las claraboyas a sur-suroeste obtenemos una reducción de la demanda en relación a la opción A, pero mayor demanda que en la opción B - **38,52 kWh/m<sup>2</sup>** anuales. Observamos que, a pesar de las consecuencias positivas en la demanda, los Atrios se mantienen con temperaturas relativamente estables diariamente y a lo largo del año, presentando las condiciones que permiten su uso frecuente dentro de unas condiciones de confort francamente superiores a las del exterior. Optamos, por tanto por esta solución.

## Optimización de la Opción C

*Fijadas las principales opciones de diseño, se aplican tres medidas correctoras que permiten reducir la demanda y comparar posteriormente los resultados con otros equipamientos escolares.*

La primera de estas medidas es el ajuste de los calendarios de ocupación de los atrios (de 25% a 10%) y aulas (de 100% a 90%), de modo a representar más fielmente el uso efectivo de estos espacios.

La segunda medida consiste en ajustar los calendarios de ventilación por salubridad para que coincidan en horario y porcentaje de ocupación con los de los espacios acondicionados. Anteriormente se hacía una ventilación continua y al 100% - siempre 10 l/s/persona - en horario de ocupación, lo que ocasionaba pérdidas innecesarias.

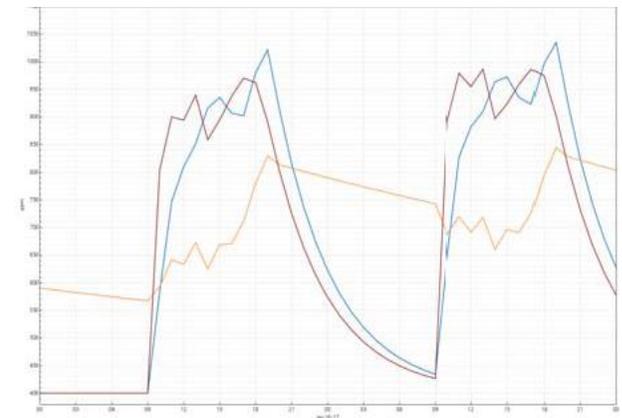
La última medida corrige la ocupación, considerando períodos de vacaciones en Navidad y Semana Santa.

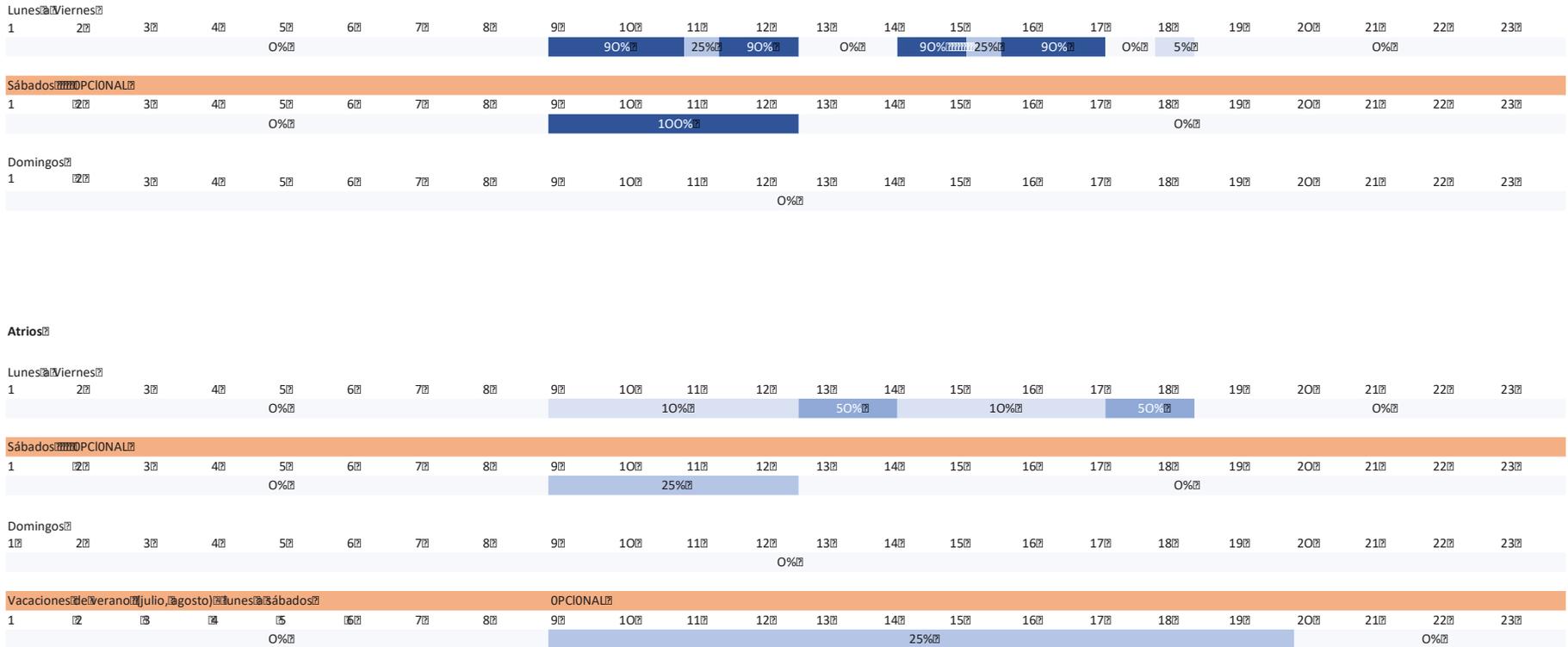
### Resultados y conclusiones

Estos ajustes conducen a una reducción de la demanda del 14%, de **38,52 kWh/m<sup>2</sup> anuales a 33,67 kWh/m<sup>2</sup> anuales.**

Esto se debe a una menor utilización del equipamiento a lo largo del año, pero también a una reducción importante de las pérdidas por ventilación - de 62 000 a 58 000 kWh. Las menores ganancias internas en los Atrios son compensadas por una necesidad inferior de renovación del aire y consecuente ahorro en calefacción.

Valores de CO<sub>2</sub>, después de los ajustes Administración, Aulas, Atrios





## Agendas de cargas internas ocupación ajustada de Aulas y Atrios

## Comparación de la demanda:

-Frente al impacto de la movilidad asociada

- Con proyectos de referencia

### Impacto del uso frente al impacto de la movilidad asociada

Subrayamos la necesidad de pensar el equipamiento en su relación con el contexto territorial y las necesidades de las poblaciones del entorno. Como hemos visto, no solo están en juego los impactos de operación de la escuela, la movilidad asociada a los desplazamientos de estudiantes y personal puede representar un consumo hasta superior. Veamos:

Demanda anual para uso exclusivamente escolar del Equipamiento Sant'Anna - **59 192 kWh** (213 091 MJ)

Potencial consumo energético anual asociado a la movilidad motorizada privada (529 personas) - **53 292 kWh** (191 852 MJ)

Potencial consumo energético anual asociado a una movilidad mixta (529 personas) - **6 744 kWh** (24 279 MJ)

Si tuviéramos en cuenta un escenario futuro de ocupación máxima de la escuela (700 personas) el consumo podría llegar a ser superior a la demanda anual del edificio:

Potencial consumo energético anual asociado a la movilidad motorizada privada (ocupación máxima)

- **70 493 kWh** (253 773 MJ)

### Comparación con proyectos de referencia

Los datos de grados-día (de calefacción o refrigeración) nos permiten hacer una comparación simplificada de las demandas de edificios con ubicaciones muy distintas.

En este caso ponemos en relación partes de la demanda calculada de la Escuela Sant'Anna - demanda de calefacción / demanda de calefacción + refrigeración + iluminación - con demandas correspondientes de otras escuelas europeas, a través del ratio kWh/m<sup>2</sup> anual por grado-día. Los valores de referencia y los casos de estudio del programa ZEMeds, que establecen un consumo final máximo de 25 kWh/m<sup>2</sup>, ofrecen un baremo que sitúa la Escuela Sant'Anna en unos valores de demanda comparativamente similares.

Cuando comparada con la Escuela Arimunani de Aulets Arquitectes (caso de estudio analizado en el posgrado), notamos que esta última presenta valores de demanda más bajos, correspondientes a un 77% de la demanda normalizada de la Escuela Sant'Anna, lo que nos apunta para la existencia de un margen relevante de posible optimización.

### ZEMedS in a nutshell: Energy

(b) Final energy consumption (all uses except DHW, Cooking, ICT and appliances):  
 CFE ≤ 25 kWh/m reference area 2 year  
 Heating/Cooling and Ventilation: CHVAC ≤ 20 kWh/m 2 year  
 Lighting: Clighting ≤ 5 kWh/m 2 year

EDIFICIOS	kWh/m2 anual (Calefacción)		
	GD 15,5	GD 18	GD 20
Escuela Sant'Anna	26,6	1410	1960 2469
Escuela Arimunani (versión galería con ventanas al patio y protecciones)	9,8	672	
kWh/m2 anual (Calefacción, refrigeración, iluminación)			
Escuela Sant'Anna	31		
Escuelas ZEMedS			
Girotondo, Cecina, Italia	15		150
Galilei, Ancona, Italia	25		1688
Renzo Frau, Sarnano, Italia	25		2270
Vanvitelli-Angelini, Ancona, Italia	25		1688
Langevin, Sete, France	25		1593

EDIFICIOS	kWh/m2 por grado-día			
	(15,5)	(18)	(20)	
Escuela Sant'Anna	0,0188652	0,0135714	0,0107736	<b>100%</b>
Escuela Arimunani (versión galería con ventanas al patio y protecciones)	0,0145833			<b>77,30%</b>
Escuelas ZEMedS				
Escuela Sant'Anna	0,0158163	0,0125557		
Escuelas ZEMedS				
Girotondo, Cecina, Italia	0,100000			<b>632,26%</b>
Galilei, Ancona, Italia	0,0148104			<b>93,64%</b>
Renzo Frau, Sarnano, Italia	0,0110132			<b>69,63%</b>
Vanvitelli-Angelini, Ancona, Italia	0,0148104			<b>93,64%</b>
Langevin, Sete, France	0,0156937			<b>99,22%</b>

## Análisis del Confort



### Temperaturas a lo largo de una semana de Febrero

Para evaluar los niveles de confort en los diferentes espacios, simulamos las temperaturas de las Aulas y Atrios en la semana de 6 a 12 de febrero, una de las más frías del año.

Una primera simulación en oscilación libre nos sitúa las temperaturas de ambos espacios entre los 10 y los 16 Cº, temperaturas sin duda fuera del rango de confort establecido pero bastante superiores a las exteriores.

Climatizando las Aulas, observamos no solo un incremento de la temperatura de estos espacios, sino también de los de Atrio. El intercambio de aire entre ellos aporta aire renovado a las aulas que, a su turno, devuelven aire cálido a los atrios, mejorando su confort sin llegar nunca a acercarse a los límites de CO<sup>2</sup> por salubridad. En este caso, las temperaturas de los Atrios oscilarían entre los 13 y los 16 grados.

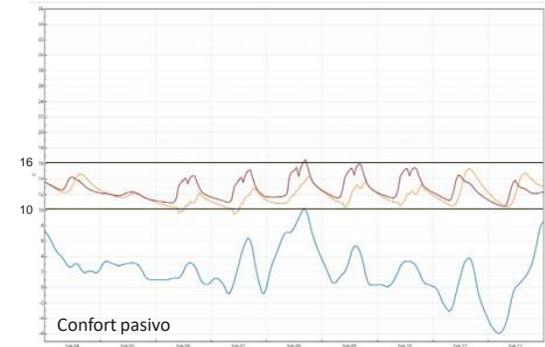
Seguidamente, hacemos un seguimiento horario de las temperaturas en estos espacios y de las temperaturas exteriores, en horario de ocupación de la Escuela.

En los atrios, la media de temperaturas en horario de ocupación es de 14,47 Cº, mientras que la media exterior es de 4,33 Cº - una diferencia de 10,14 Cº.

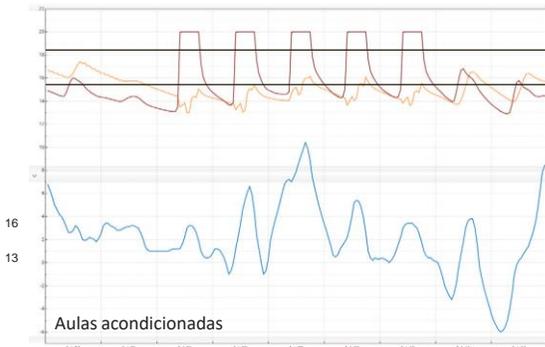
Consideramos, por tanto, los Atrios en tanto que espacios intermedios, semi-exteriores pero protegidos. Espacios que ofrecen condiciones de confort superiores a las del exterior, pero cuya ocupación varía considerablemente a lo largo del año, fluctuando de acuerdo con las condiciones meteorológicas.

En los meses fríos, funcionan principalmente como captadores solares que atemperan el aire limpio y protegen las aulas del contacto directo con el exterior. En los meses intermedios y cálidos, son una extensión de las aulas, expandiendo su superficie y complementando las clases con usos informales.

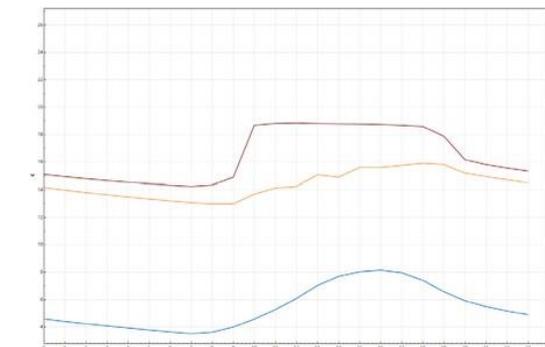
El espacio de la Escuela se distiende y contrae de acuerdo con la estación.



Variación de temperaturas a lo largo de una semana de febrero



Exterior, Aulas y Atrios



Día-tipo, media de las temperaturas diarias hora a hora, en febrero

## Modelos de gestión

### De escuela a equipamiento polivalente, dos estrategias para el futuro:

- potenciar los usos compartidos
- Intensificar la ocupación

De escuela a equipamiento polivalente: intensificación y multiplicidad de usos. Imagen de concurso



#### Agendas de Ocupación

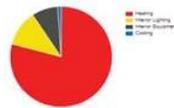
Considerando la Escuela Sant'Anna como un equipamiento para Bevagna y los pueblos cercanos, se puede llegar a plantear la absorción de otros usos y su funcionamiento como equipamiento integrado, centro cívico y refugio climático en verano - un espacio que ofrezca sombra, vegetación y puntos de agua, a semejanza de lo que se plantea con el Plan Clima para Barcelona o el proyecto OASIS, en París.

Este uso intensificado justificaría y permitiría amortizar determinadas opciones de proyecto relacionadas con la calidad constructiva del equipamiento, apostando por soluciones con mejores prestaciones ambientales, que a largo plazo pueden conducir a importantes beneficios, tanto ecológicos como económicos.

En este sentido, y porque "un edificio vacío nunca puede ser sostenible" (*Informe Mies*, Caballero y Cuchi, 1999), nos pareció interesante hacer una simulación de su uso continuo para valorar las implicaciones en términos de demanda.

#### Escolar 2

Ocupación constante exceptuando sábados, domingos, períodos de vacaciones de dos semanas en Navidad y Semana Santa, julio y agosto (1560h aprox.)

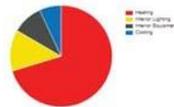


Demanda anual:

**33,67 kWh/m<sup>2</sup>**

#### Centro Cívico

- Ocupación constante entre semana, mañana de sábado. Sin períodos de vacaciones (2288h aprox.)



Demanda anual:

**40,35 kWh/m<sup>2</sup>**

Observamos un incremento total de demanda, que pasa de 59 192 kWh a 70 947 kWh, de casi 20%.

La demanda de iluminación contribuye para este incremento (de 7 000 a 9 000 kWh), así como la ocupación en los sábados y vacaciones de invierno, que conduce a la subida de la demanda de calefacción de 47 a 50 kWh.

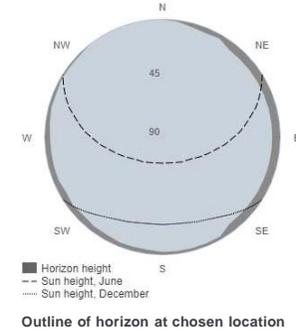
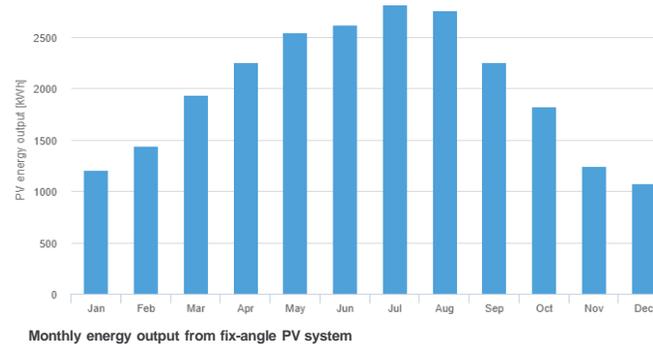
Es, sin embargo, la ocupación en verano que, al generar mayores necesidades de refrigeración provoca el aumento más significativo en la demanda. Antes prácticamente inexistentes (1 000 kWh), con este uso extendido ascienden a 5 000 kWh, lo que seguramente justificaría el estudio de estrategias de disipación del calor y de sistemas activos que pudieran cubrirlas de forma sostenible y eficiente.

A pesar del importante aumento de la demanda, cuando lo comparamos con el incremento en horas de funcionamiento (+47%), podemos hacer una valoración muy positiva del potencial de mayor uso del equipamiento Sant'Anna, como modo de rentabilizar económica y socialmente un inversión pública que mejora substancialmente la vida del conjunto de la población.

## Valoración de los sistemas que permiten cubrir la demanda



Cálculo del rendimiento de paneles fotovoltaicos conectados a la red. Fuente: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR)



### Demanda de calefacción y refrigeración

#### Energía geotérmica

Teniendo en cuenta las características climáticas y geológicas de Bevagna, los resultados del cálculo de la demanda y las propiedades constructivas del edificio, proponemos cubrir las demandas térmicas a través de la energía geotérmica, que tiene la capacidad de aprovechar la estabilidad de la temperatura del suelo. Por una parte, este sistema presenta ventajas cuando comparado con otros como la aerotermia, ya que el clima se caracteriza por rangos elevados de temperatura del aire exterior (de -6 C° a 34 C°). Por otra, la solución constructiva mixta que proponemos permite integrar circuitos radiantes a baja temperatura en la solera, sacando partido de sus propiedades inerciales.

Al tratarse de un sistema que permite cubrir tanto la demanda de calefacción como la demanda de refrigeración (controlando condensaciones), anticipa la posibilidad de usos intensificados en la estación cálida y los cambios futuros derivados de la crisis climática.

### Demanda de electricidad Iluminación y equipos

#### Energía fotovoltaica

A través del *Photovoltaic Geographical Information System* de la Comisión Europea, hacemos una aproximación al cálculo del rendimiento de paneles fotovoltaicos conectados a la red. Con 90 m<sup>2</sup> sería posible cubrir cerca de 1100 kWh en el mes más desfavorable (diciembre), que estaría cerca de la demanda anticipada para este mes (1200 kWh). Tratándose de un sistema conectado, el excedente en los restantes meses podría suplir las necesidades de otros equipamientos públicos, al mismo tiempo que se asegura el abastecimiento en momentos de menor producción o picos de demanda.

La superficie de cubierta plana disponible en cada módulo escolar es de cerca de 800 m<sup>2</sup> y, por tanto, sería factible la eventual ampliación de potencia en caso de necesidad.

#### Provided inputs:

Latitude/Longitude:	42.936, 12.609
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	CIS
PV installed:	18 kWp
System loss:	14 %

#### Simulation outputs

Slope angle:	33 (opt) °
Azimuth angle:	27 °
Yearly PV energy production:	23980.83 kWh
Yearly in-plane irradiation:	1746.9 kWh/m <sup>2</sup>
Year-to-year variability:	1182.58 kWh
Changes in output due to:	
Angle of incidence:	-2.81 %
Spectral effects:	NaN %
Temperature and low irradiance:	-8.76 %
Total loss:	-23.74 %

## Paisaje, ecología y uso del suelo

### Reconocimiento del lugar

El solar propuesto se trata de un emplazamiento que actualmente tiene un uso agrario situado en las afueras de la ciudad de Bevagna sin aparentemente ningún interés ecológico.

La planicie que genera el paso del río Teverone fomenta un paisaje agrícola con pequeñas concentraciones de árboles puntualmente. En la parte oeste de Bevagna se encuentra una zona ligeramente montañosa donde predomina el bosque tipo acidófilo planicial con hayas, robles y castaños.



Emplazamiento dentro de Bevagna



Solar para la escuela Sant'Anna

### Usos del suelo

La distribución de los espacios libres de la escuela se ha basado en el predominio de los espacios permeables (52%) sobre el pavimento impermeable (26%).

Zona verda i escocells	12.271,00	39,07
Paviment tipus sauló/grava	1.984,00	6,32
Zones drenants i suds	1.000,00	3,18
Hort 1+2	965,00	3,07
Basses fitodepuració	260,00	0,83
Paviment dur	8.222,65	26,18
Cobertes	6.702,35	21,34
	<b>31.405,00</b>	<b>100,00</b>

Se potencia el espacio verde para la mejora de la ecología del emplazamiento, contribuir a la captación de CO<sub>2</sub>, reducir los efectos de isla de calor y dotar al emplazamiento de espacios de sombra agradables y cambiantes a lo largo de las estaciones.

Se proponen plantaciones de zonas arboladas con especies autóctonas para sombra, frutales, huertos para consumo y educación, cubiertas verdes, tapizantes de bajo consumo hídrico y zonas de prado con beneficios eco-sistémicos.



Las zonas impermeables (pavimento de hormigón con árido reciclado, pavimento de arena compactada) se reservan para mejorar la accesibilidad universal a los edificios y en las zonas de aparcamiento y circulación de vehículos (coches, bicicletas y autobuses) y peatones.

En los límites de los edificios que están en contacto con pendientes se colocaran franjas drenantes para reconducir la posible escorrentía del agua.

En determinados puntos se dispondrán de zonas de filtraje de agua a acuífero mediante SUDs y pozos drenantes.

## Paisaje, ecología y uso del suelo

### El huerto

Educación, alimentación, compostaje de residuos orgánicos, gestión sostenible del agua

Uno de los aspectos que se tendrían en cuenta a la hora de la creación de la escuela sería la alimentación de las personas que se quedan en el comedor. A parte del diseño de menús saludables y equilibrados, la disposición de terreno permite la posibilidad de tener un huerto ecológico para consumir una parte de vegetales, hortalizas y frutas, etc. Además este huerto podría formar parte del proyecto educativo de la escuela no sólo como cuidado y recolección, gestión sostenible del agua sino también podría incorporar el compost de los residuos orgánicos generados en la escuela, comedor y cultivo.



La previsión de personas que se quedarán a comer se ha establecido en 50% del personal de la escuela + 50% de alumnos de infantil + 1/3 de los alumnos de primaria y secundaria. El total aproximado de 210 servicios que equivale a 39 adultos + 60 niños de infantil + 110 alumnos de primaria y secundaria. Se trata de un cómputo general sin tener en cuenta por falta de datos el % efectivo de servicios habituales y posibles por extras para personas sin recursos.

Para cubrir las necesidades alimentarias de una persona adulta se necesitan entre 35/40m<sup>2</sup> (según Leberecht Migge en su diseño de 1918 para una Siedlung autosuficiente en Alemania eran necesarios de 40/80m<sup>2</sup> por persona + una parcela de dimensiones similares para el cultivo de patatas y verduras de invierno) y unos 120/130m<sup>2</sup> para una familia de 4 personas. Para el caso de la escuela se ha considerado que serían necesarios **17,5 m<sup>2</sup> para adultos, 10 m<sup>2</sup> para niños de infantil y 12,5 m<sup>2</sup> para alumnos de primaria y secundaria**. La superficie que sería necesaria para ser autosuficientes sería de aproximadamente 2.6250 m<sup>2</sup>.

En el proyecto se prevé dos zonas de **huerto** con un total de **965,67m<sup>2</sup>** cercanas a las zonas de fitodepuración + 23 manzanos + 23 perales + 47 nogales + 45 castaños + 15 almendros y 16 olivos.

### Necesidades hídricas del huerto

965		m <sup>2</sup>	
Meses	l/mes y m <sup>2</sup>	l/mes	l/día
Gener	5	4.825	161
Febrer	5	4.825	161
Mar;	50	48.250	1.608
Abril	50	48.250	1.608
Maig	50	48.250	1.608
Juny	145	139.925	4.664
Juliol	145	139.925	4.664
Agost	145	139.925	4.664
Setembre	50	48.250	1.608
Octubre	50	48.250	1.608
Novembre	50	48.250	1.608
Desembre	5	4.825	161
<b>TOTAL</b>		<b>723.750</b>	
<b>per dia</b>		<b>1.983</b>	

Cultivo	Kc				Siembra
	Etapa del desarrollo del cultivo				
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración	
Apio	0,8	0,95	0,95	0,95	abril
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,8	mayo/junio
Brócoli	0,3	1	1	0,8	septiembre
Calabaza	0,45	0,7	0,9	0,75	junio
Cebolla seca	0,5	0,75	1,05	0,85	abril
Cebolla verde	0,5	0,7	1	1	abril/mayo
Col	0,45	0,75	1,05	0,9	abril/febrero, octubre
Espinacas	0,45	6	1	0,9	abril-sep/octubre
Habas	0,45	0,45	1,15	0,6	marzo/abril
Lechuga	0,45	0,6	1	0,9	abril/noviembre/febrero
Melón	0,45	0,75	1	0,75	mayo/junio
Patata	0,45	0,75	1,15	0,85	abril
Pepino	0,45	0,7	0,9	0,75	junio/noviembre
Pimiento	0,35	0,7	1,05	0,9	abril/junio
Rábano	0,45	0,6	0,9	0,9	marzo/abril
Remolacha	0,45	0,8	1,15	0,8	abril/mayo
Tomate	0,6	1,05	1,05	0,6	abril/mayo
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,9	febrero/marzo
Guisante	0,45	0,8	1,15	1,05	marzo/abril
Judía	0,35	0,7	1,1	0,3	febrero/marzo

El cálculo de las necesidades de riego aproximadas del huerto se ha realizado mediante la hipótesis de consumo facilitada en el archivo de balance hídrico. No obstante, las necesidades reales de riego de un huerto dependerán del coeficiente **Kc (cultivo)** de las especies plantadas y que varía según la etapa de crecimiento (inicial, desarrollo, media, maduración), del tipo de suelo (arenoso, franco-arenoso, arcilloso, etc), al eficiencia del sistema de riego y por supuesto del coeficiente de evapotranspiración (**Eto**) y la pluviometría del lugar.

Según los datos de partida y resultados del PLOU en todo el recinto habría un déficit de agua para riego de zonas verdes, huerto y uso en cisternas de inodoros en los meses de junio, julio y agosto. Parte de este déficit se podría cubrir con el agua fitodepurada.

## Paisaje, ecología y uso del suelo

### Zonas verdes

Espacios de bienestar, percepción del cambio estacional, contacto con la naturaleza, beneficios ecosistémicos, absorción CO2, reducción del efecto isla de calor y refugios climáticos

La tipología de arboles propuestos son autóctonos de la región de Umbria y la especie escogida se basa en su valor ornamental, sombra generada, producción de frutos u otros. Como excepción no autóctona se plantea el Ginkgo biloba por su valor como especie y belleza (se considera un fósil viviente, es el árbol más resistente al fuego y plagas).

La vegetación propuesta y especies aromáticas son autóctonas o compatibles con el clima de Bevagna: Thymus vulgaris, rosmarinus officinalis, ruta graveolens, salvia greggi, sambucus nigra, satureja montana, retama sphaerocarpa, myrthus communis, lavandula angustifolia, artemisia arborescens, amaryllis belladonna, capparidaceae orientalis, cistus albidus/purpureos, laurus nobilis, etc.

Se proponen como especies tapizantes: la zoysia japónica en zona tipo césped pero de consumo muy bajo de agua, diferentes tipos de sedum en las cubiertas verdes y en alcorques y zonas de prado una siembra de semillas con beneficios ecosistémicos (especies anuales i perennes): calendula officinalis, Tanacetum, Alyssium sextatile, Echium, Coreopsis, Salvia, Hyssopus, Coriandrum, etc

Por otro lado también se proponen especies macrófitas en las lagunas de fitodepuración.

	Nom especie	Tipus de vegetació	Area aprox. copa (m2)/u -25%	Unitats	Area (m2)	Coef. Especie Ks	Coef. Microclima Km	Coef. Jardí Kj (Ks*Km)
A1	Ginkgo Biloba	arbre	21,21	40	848,23	0,50	0,50	0,25
A2	Juglans regia (nogal)	arbre	37,70	47	1771,86	0,50	0,50	0,25
A3	Castanea sativa (castaño)	arbre	37,70	45	1696,46	0,40	0,50	0,20
A4	Populus nigra italica	arbre	5,30	54	286,28	0,60	0,50	0,30
A5	Populus alba nivea	arbre	21,21	38	805,82	0,60	0,50	0,30
A6	Quercus pubescens	arbre	28,86	28	808,18	0,40	0,50	0,20
A7	Fraxinus angustifolia ray wood	arbre	21,21	46	975,47	0,40	0,50	0,20
A8	Olea europaea	arbre	21,21	16	339,29	0,27	0,50	0,14
A9	Prunus dulcis (p. amygdalus)	arbre	14,73	15	220,89	0,15	0,50	0,08
A10	Malus domestica (manzano)	arbre	14,73	23	338,70	0,40	0,50	0,20
A11	Pyrus comunis (peral)	arbre	14,73	23	338,70	0,40	0,50	0,20
B1	Zona aromatiques	arbustiva			673,60	0,29	0,50	0,14
T1	Zoysia japonica en prat	tapissant			7697,00	0,50	0,80	0,40
T2	Sedum cobertes	Tapissant			5142,35	0,20	0,50	0,10
T3	Barreja de llavors amb beneficis ecosistèmics (inclous plantació escocells)	tapissant			3900,00	0,15	0,50	0,08



Ginkgo Biloba



Juglans regia



Castanea sativa



Populus nigra



Populus alba



Quercus pubescens



Pyrus



Malus



Prunus dulcis

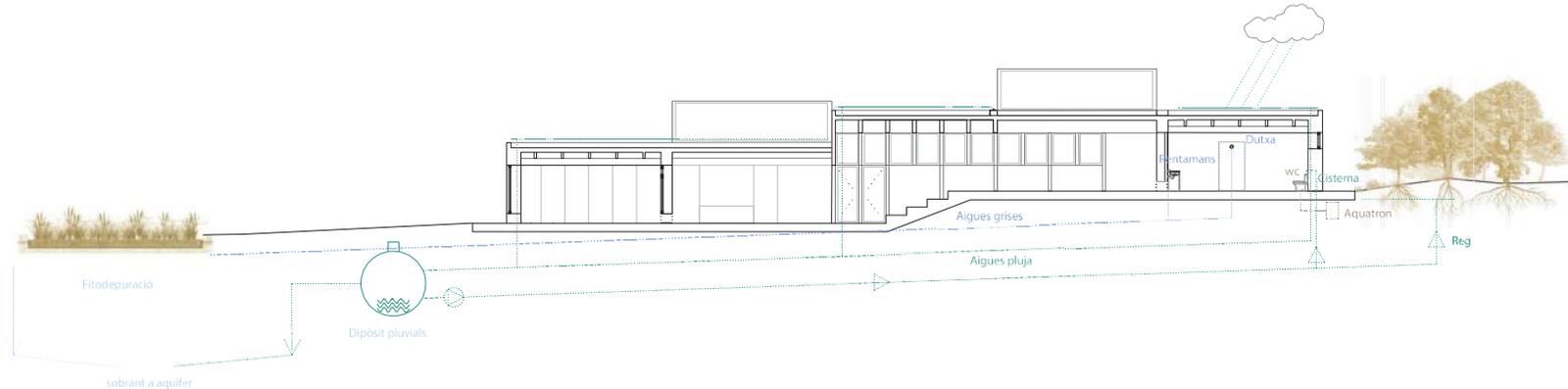


Olea



Fraxinus

## Gestión sostenible del Agua



### Reducción del consumo de agua y retorno al medio del agua procedente del saneamiento

Se propone una **reducción de la demanda** de agua potable, una reducción total de la demanda del agua susceptible de no ser potable (riego, limpieza, etc) mediante el reciclaje y tratamiento de aguas grises y de la captación de agua de lluvia.

Se propone el **retorno al medio** (acuífero) de las aguas sobrantes de captación de pluvial y de reciclaje de aguas grises mediante SUDS y pozos de infiltración. Las aguas a infiltrar en el subsuelo se trataran previamente mediante separadores de aceites para **evitar la contaminación** del acuífero.

Se considera la posibilidad de **no ejecutar obras para hacer el alcantarillado convencional**. Estas obras podrían llegar a tener un coste superior a 800.000€ (movimientos de tierras, colectores y acometidas incluidas).



### Agua potable

El suministro de agua potable daría servicio a aquellos aparatos que fueran susceptibles para el consumo humano (grifos, fuentes y duchas).

Para disminuir el consumo de agua potable se prevé:

- \*Urinaris químics
- \*Grifos (incluidas duchas) tegan dispositivos aireadores, reguladores de caudal y temporizadores o detectores de presencia.
- \*Inodoros con sistema tipo aquatron para evitar aguas negras.
- \* Lavavajilles que funciona con agua reciclada.
- \*Aprovechamiento de agua pluvial y grises depuradas para usos no potables.

Paralelamente se propone una monitorización de los consumos para una mejor gestión y detección de posibles fugas de agua y dispositivos antilegionelosis.

# Gestión sostenible del Agua

## Balance hídrico

Para realizar el balance hídrico de la escuela se han tenido en cuenta por un lado los consumos estimados de agua potable y los consumos susceptibles de ser realizados con agua reciclada.

Para establecer el volúmen de agua a reciclar proveniente de lluvia, se calcula la pluviometría del emplazamiento, las superficies de recojida de agua y sus rendimientos según materiales de acabado.

Por otro lado se calculan los consumos de ese agua que se destinaran a riego de jardines y huerto y limpieza.

## Superficies de recojida toda la escuela

Cobertes	m2 coberta verda	m2 coberta inclinada	m2 Totals
Cuina-menjador	348,85		348,85
Biblioteca	232,50		232,50
Edifici infantil	1.410,00	460,00	1.870,00
Edifici primaria	1.225,50	550,00	1.775,50
Edifici secundaria	1.225,50	550,00	1.775,50
Poliesportiu	700,00		700,00
	<b>5.142,35</b>	<b>1.560,00</b>	<b>6.702,35</b>

factor eficiencia captación

Tejado duro inclinado	Q8-0.9
Tejado plano sin gravilla	Q8
Tejado plano con gravilla	Q6
Superficie empedrada	Q5-0.8
Asfalto	Q8-0.9

### Edifici referencia

Tipus	superficie	litres/dia i m2 útil	litres/dia
Neteja edifici infantil	1870,00	0,0575	107,61
Neteja edifici primaria	1775,50	0,0575	102,17
Neteja edifici secundaria	1775,50	0,0575	102,17
Neteja cuina-menjador	348,85	0,0575	20,08
Neteja Biblioteca	232,50	0,0575	13,38
Neteja poliesportiu	700,00	0,0100	7,00
	<b>6702,35</b>	<b>0,30</b>	<b>352,42</b>

## Información básica toda la escuela Sant'Anna

Usuaris Tipus	núm.	sexe	persones	inodor/dia	urinari/dia	rentamans*	Dutxa
Tipus 1 - infantil	120	-	120	462	0	600	
Tipus 2 - primaria	200	nen	100	128	0	500	
		mena	100	128	0	500	
Tipus 3 - secundaria	120	nen	60	77	0	300	
		mena	60	77	0	300	
Tipus 4 - mestres	66	home	33	66	0	165	
		dona	33	66	0	165	
Tipus 5 - administració	13	home	6	18	0	24	
		dona	7	20	0	26	
Tipus 6 - neteja	2	home	1	1	0	2	
		dona	1	1	0	2	10,0%
Tipus 7 - cuina	5	home	2	2	0	14	32
		dona	3	6	0	21	
	<b>526</b>		<b>526</b>	<b>1051</b>	<b>0</b>	<b>2584</b>	

1 professor cada 6,66 alumnes

23,22%

usuari equivalent

440

dies lectius

200

dutxa - 10% primaria i secundaria 2 cops a la setmana

13

Beure - 0,28 l/alumne que es queda a menjar. Es considera que 50% del

personal (professors i administració) i d'infantil es queden a menjar. Per

210

altra banda es considera que només 1/3 de primaria i secundaria es

queden a menjar

Es considera que la cuina tindrà un tren de rentatge amb reciclatge d'aigua per les 210 que s'estimen que es quedaran a dinar. El consum d'aigua de cuina també

prové de l'ús de l'aixeta, es preveu un ús de 2,8l/pa

\*Es considera que per mesures d'higiene pel COVID la ratio de rentamans passa de 3,85 a 5

Es considera que els urinaris són químics i no faran ús d'aigua

Tipus de superfície de coberta	Factor d'eficiència de captació	Escenari Convencional						
		Aparells	Freqüència	Cabal	Durada	Litres/ús	lpa	litres/dia
Coberta metàl·lica	0.9	Inodor				4,5	10,75	4.730
Teules	0.8 - 0.85	Urinari				2	0,00	0
Coberta invertida (amb grava)	0.7 - 0.8	Dutxa	12	5		60	1,75	768
Formigó	0.6 - 0.8	Lavabo	8	0,33		2,64	15,50	6.822
Paviment ceràmic	0.5 - 0.6	Cuinar				2,8	0,00	588
Terra amb pendent < 10%	0.0 - 0.3	Beure				1	0,13	59
Superfícies rocoses	0.2 - 0.5	Reg					14,55	6.402
		Neteja				8	0,80	352
						<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>19.721</b>
								<b>493.023</b>
								<b>493</b>
								<b>Consum Total usuaris</b>
								<b>13.319</b>
								<b>Total pa</b>
								<b>25,32</b>

Superfícies recollida pluja totals	m²	coeficient red.	m² equiv.	acabat
coberta verda	5.142,35	0,3	1.543	sedum
coberta inclinada	1.560,00	0,8	1.248	planxa
Zones verdes, horts, escocells	13.236,00	0	0	vegetació
Paviment drenant (a aquífer)	2.984,00	0	0	sauló, grava
Paviment	8.222,65	0,6	4.934	formigó reciclat
Bases fitodepuració	260,00	0	0	aigua reciclada
<b>TOTAL</b>	<b>31.405,00</b>		<b>7.724</b>	

\*\*Se ha realizado un cálculo de todo el complejo educativo para poder contemplar las necesidades de consumo de agua del huerto, cocina, duchas, etc

# Gestión sostenible del Agua

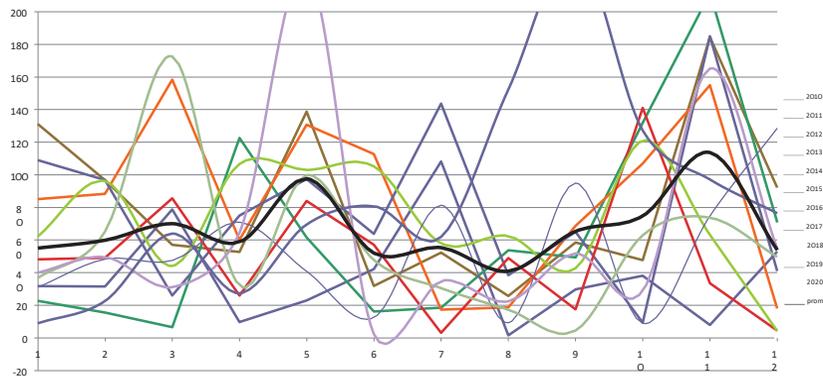
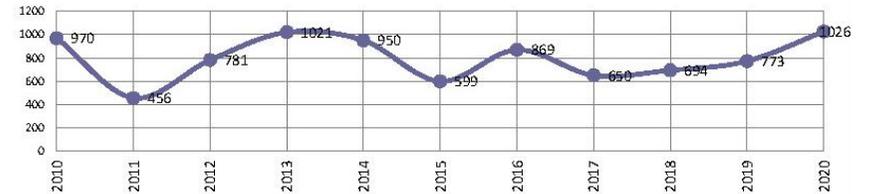
## Balance hídrico. Captación de agua de lluvia

### Pluviometría Bevagna

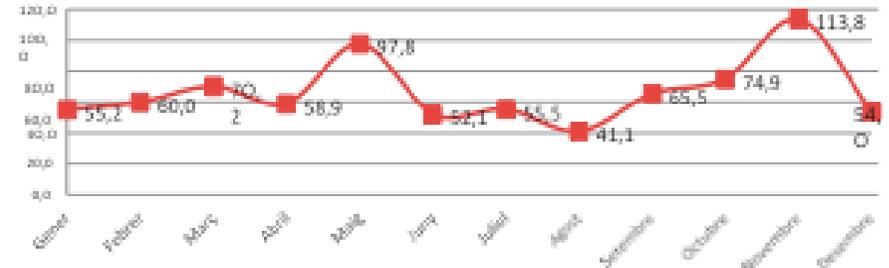
PLUJA MENSUAL BEVAGNA										
(mm)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Gener	131,2	31,8	22,8	85,2	109	48,2	62,2	31,2	36,8	40
Febrer	96,8	31,6	15,6	88,4	96,8	49,2	96,2	48,4	65,2	49,6
Març	57,2	78,8	6,6	158,4	26	85,6	44,2	47,6	172,6	31,2
Abril	52,8	9,8	122,6	60,2	75	26	106,6	71	32,2	64,6
Maig	138,8	23	61,6	130,8	97,4	84	103	40,8	99,8	226,8
Juny	32	42,2	16,2	112,8	63,8	57,2	105,2	12,6	47,8	2,4
Juliol	52,4	108,2	18,6	17,4	143,6	3,2	58	81,4	30,6	35
Agost	25,8	1,6	53,8	18,8	38,4	49	62,6	9,4	17,4	22,4
Setembre	58,6	29,8	49,4	68,8	65	17,6	42,8	95	4,6	51,8
Octubre	47,8	38,2	132	107	9,4	141	121	9	63	28,8
Novembre	184,4	8	211,4	155	185	33,6	63,2	75	73,8	165,2
Desembre	92,2	53	70,8	18,2	41	4,6	4,4	128,6	49,8	54,8
Totals anuals	970	456	781	1021	950	599	869	650	694	773

Para determinar una pluviometría media mensual se calcula las medias mensuales de un periodo de 10 años.

Totals anuals pluviometria (l/m<sup>2</sup>)



Pluviometria mensual mitjana (l/m<sup>2</sup>)



# Gestión sostenible del Agua

## Balance hídrico. Captación de agua de lluvia

### Necesidades de agua para el riego de jardines

La previsión de consumo de agua para riego se determina mediante el método de evapotranspiración, para ello necesitamos la evapotranspiración **Et0** de referencia de Bevagna, el coeficiente de cultivo **Kc** de las diferentes especies que hemos determinado para las zonas verdes (arboles, arbustiva y tapizantes), la eficiencia del sistema de riego, coeficientes de densidad y microclima y superficies relacionadas con cada especie.

En la tabla se ven los resultados correspondientes a la tipología de arboles A1-A2 (Gingko y nogal) unificados porque tienen el mismo coeficiente **Ks=0,5** y se les aplica los mismos coeficientes Ea, Kd i Km obteniendo el coeficiente **Kj= 0,25**, coeficiente de jardín que permite calcular las necesidades aproximadas de agua necesarias en relación a la evapotranspiración, la superficie y la pluviometría media mensual.

Bevagna	Precipitación	evapotranspiración	Evapotranspiración "real"	Pluja efectiva	Pluja efectiva	Necessitats aigua	minoració especies i tipus plantació	necessitat de reg 3	Consum aigua per reg				
	P	ET <sub>0</sub>	ET <sub>r</sub>	P <sub>e</sub>	P <sub>e</sub>	N	%	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i dia	T1: mm/ mes	mm/dia	
	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes		mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i mes	mm/ m <sup>2</sup> i dia			
gener	55,2	27,52	6,9	23,1	23,1	-16,3	25%	-12,2	0,0	0,0	0	0	
febrer	60,0	42,31	10,6	26,0	26,0	-15,4	20%	-12,4	0,0	0,0	0	0	
març	70,2	74,55	18,6	32,1	32,1	-13,5	20%	-10,8	0,0	0,0	0	0	
abril	58,9	96,34	24,1	25,4	25,4	-1,3	20%	-1,0	0,0	0,0	0	0	
maig	97,8	132,48	33,1	53,2	53,2	-20,1	20%	-16,1	0,0	0,0	0	0	
juny	52,1	155,46	38,9	21,3	21,3	17,6	20%	14,1	14,8	0,5	38.855	1.253	
juliol	55,5	169,24	42,3	23,3	23,3	19,0	20%	15,2	16,0	0,5	41.955	1.353	
agost	41,1	150,90	37,7	14,6	14,6	23,1	20%	18,5	19,4	0,6	50.949	1.644	
setembre	65,5	101,49	25,4	29,3	29,3	-4,0	20%	-3,2	0,0	0,0	0	0	
octubre	74,9	68,05	17,0	35,0	35,0	-18,0	20%	-14,4	0,0	0,0	0	0	
novembre	113,8	34,61	8,7	66,0	66,0	-57,4	20%	-45,9	0,0	0,0	0	0	
desembre	54,0	25,52	6,4	22,4	22,4	-16,0	20%	-12,8	0,0	0,0	0	0	

perdues del j 799,1 1078,47 22,5 Km microclima 59,7 59,7 50,3 necessitat reg segons sistema aplicació 131.759 4250,3

Kj=Ks\*Kd\*Km  
**0,25**  
 ET<sub>r</sub>=K<sub>j</sub>\*ET<sub>0</sub>  
 22,5  
 P>75 P<sub>e</sub>=0,8\*P-25 P<75 P<sub>e</sub>=0,6\*P-10  
 N=ET<sub>r</sub>-P<sub>e</sub>  
 E<sub>a</sub> (eficiencia reg)  
 0,95

Tipo de riego	E <sub>A</sub>
Riego localizado subterráneo	0,95
Riego localizado en superficie	0,9
Difusores y microaspersores	0,8
Aspersores	0,7-0,8
Superficie	0,5-0,65

Tipo vegetación	coeficiente de densidad (Kd)		
	alto	medio	bajo
Árboles	0,5	1,0	1,3
Arbustos	0,5	1,0	1,1
Tapizantes	0,5	1,0	1,1
Plantación mixta	0,6	1,1	1,3
Césped	0,6	1,0	1,0

Tipo vegetación	coeficiente de especie (Ks)		
	alto	medio	bajo
Árboles	0,9	0,5	0,2
Arbustos	0,7	0,5	0,2
Tapizantes	0,7	0,5	0,2
Plantación mixta	0,9	0,5	0,2
Césped	0,8	0,7	0,6

Tipo vegetación	Coeficiente de microclima (Km)		
	a	m	b
Árboles	1,4	1,0	0,5
Arbustos	1,3	1,0	0,5
Tapizantes	1,2	1,0	0,5
Plantación mixta	1,4	1,0	0,5
Césped	1,2	1,0	0,8

## Gestión sostenible del Agua

### Balance hídrico. Captación de agua de lluvia

#### Necesidades de agua para el riego de jardines

Las necesidades finales de riego son la suma de las necesidades de cada especie en función de la superficie y de los coeficientes  $K_j$  obtenidos.

En la tabla adjunta se observan las necesidades parciales finales mensuales correspondientes al consumo de agua para riego suma de las diferentes tipologías de árboles clasificados según su coeficiente  $K_j$  ( $K_j = K_s * K_d * K_m$ ), tapizantes y arbustiva en relación a sus superficies, eficiencia del riego utilizado, la pluviometría media mensual y a la evapotranspiración correspondiente.

	Consum aigua per reg T1:mm/mes								
	A1-2	A3,6,7,10,11	A4,5	A8	A9	B1	T1	T2	SUMA
gener	0	0	0	0	0	0	0	0	0
febre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
març	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abril	0	0	3.261	0	0	0	106.898	0	110.159
maig	38.855	36.927	23.344	146	0	0	331.973	0	431.244
juny	41.955	39.614	25.270	114	0	0	360.134	0	467.087
juliol	50.949	58.360	28.176	1.855	0	0,2	370.887	1.980	512.208
agost	0	0	1.030	0	0	0	91.399	0	92.429
setembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
octubre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
desembre									
									1.613.127
									7.750

#### Necesidades de agua para el riego del huerto

Las necesidades de agua para el riego del huerto vienen determinadas por la estimación realizada para un huerto tipo de 965 m2 regado mediante sistema de goteo que serían de aprox. 732.750 l/mes.

#### Necesidades de agua el inodoro

Las necesidades de agua para el inodoro se han determinado en función de los indicadores de usos en función del grupo y en ocasiones género: infantil 3,85 veces día/alumno, primaria y secundaria 1,28 veces día/alumno, maestros 2 veces día/pa, etc; los litros por uso 4,5/uso de media y los días lectivos considerados. En este caso la estimación se ha realizado tan solo para el uso de escuela y teniendo en cuenta que los meses de julio y agosto son festivos.

#### Necesidades totales de agua:

per dia

	Reg jardi/ arbres	Hort	Consum Wc		
Gener	0	4.825	4.730	18,00	85.140
Febrer	0	4.825	4.730	18,00	85.140
Març	0	48.250	4.730	20,00	94.600
Abril	110.159	48.250	4.730	18,00	85.140
Maig	0	48.250	4.730	20,00	94.600
Juny	431.244	139.925	4.730	28,00	132.440
Juliol	467.087	139.925	4.730	0,00	0
Agost	512.208	139.925	4.730	0,00	0
Setembre	92.429	48.250	4.730	18,00	85.140
Octubre	0	48.250	4.730	20,00	94.600
Novembre	0	48.250	4.730	20,00	94.600
Desembre	0	4.825	4.730	20,00	94.600
			dies lectius	200,00	946.000

		DIA	
1.613.127	723.750	2.336.877	6.402

# Gestión sostenible del Agua

## Balance hídrico. Captación de agua de lluvia

### Aprovechamiento de aguas pluviales

Como medida de disminución de la demanda de consumo de agua de red, se prevé el reciclaje de las aguas pluviales.

La captación de agua de lluvia permite que, a excepción de los meses de junio, julio y agosto se pueda aprovechar el agua almacenada y no depender de agua de red.

Se propone la recogida de las pluviales en 4 depósitos de 75.000l situados enterrados aprovechando los des-

niveles del terreno junto los edificios para minimizar los conductos.

El agua de lluvia en zonas de calzada y aparcamiento se filtraran previamente teniendo en cuenta la separación de hidrocarburos para no contaminar las aguas.

Las aguas pluviales recicladas se utilizarían para el riego de zonas verdes y huertos, para el tren de limpieza de vajilla del comedor, las descargas de los inodoros, y para la limpieza de los edificios y exteriores.

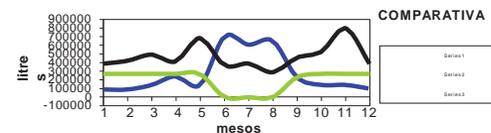
Para el riego se utilizarían sistemas eficientes tipo riego por goteo, mantas de goteo tipo hunter ECO-MAT de riego subsuperficial en las zonas donde se siembran tapizantes y sensores de humedad.

Se tendrá en cuenta la realización de controles periódicos de calidad del agua y tratamientos anti-legionelosis en el caso que fuera necesario.

PLOU 3.1					
	0		Necessitats d'aigua		
	Pluviometria (l/m2)	promig	l/ud*mes	ud	l/mes
Gener	55,2		31		89.965
Febrer	60,0		28		89.965
Març	70,2		31		142.850
Abril	58,9		30		243.549
Maig	97,8		31		142.850
Juny	52,1		30		703.609
Juliol	55,5		31		607.012
Agost	41,1		31		652.133
Setembre	65,5		30		225.819
Octubre	74,9		31		142.850
Novembre	113,8		30		142.850
Desembre	54,0		31		99.425
<b>ANUAL</b>	<b>799</b>				<b>3282877</b>
<b>Coefficient de perdues i irregularitats anuals</b>					<b>1,1</b>
<b>Necessitat m2 de captació</b>					<b>4519</b>
<b>Superfície de captació real (m2)</b>					<b>7724</b>
<b>Captació efectiva anual (l)</b>					<b>5143696</b>
<b>Necessitats anuals (l)</b>					<b>3282877</b>
<b>Balant; hídric anual (l):</b>					<b>1860819</b>
<b>Balant; hídric mensual (l) - aproximació anual sense acumulació</b>					
	necessitats	captació teòrica	captació real	balant; teòric	balant; real
Gener	89965	226850	387747	136885	29778
Febrer	89965	246644	421581	156679	331616
Març	142850	288399	492950	145549	350100
Abril	243548,9	242088	413792	-1461	17024
Maig	142850	401712	686632	258862	543782
Juny	703609,3	214003	365787	-489607	-337822
Juliol	607011,9	227971	389662	-379041	-217350
Agost	652132,9	168662	288289	-483471	-363844
Setembre	225818,8	269277	460266	43458	23444
Primer a aproximació capacitat de la cisterna				163045	324680
Ratio cisterna TEORICA/captació				66,32	42
capacitat			709133	324690	300000
capacitat de la cisterna REAL					27000
Ratio cisterna REAL/captació					35

El posible agua sobrante se infiltrará de nuevo en el subsuelo.

Aigua de xarxa: SI Diposit limitat a 270000				
Balant hídric (l) a finals de cada mes				
manca o sobra	de xarxa	xarxa anual	contingut al diposit	sobreix. pel sobreix. anual
	MENSUAL			
297782	0		270000	27782
601616	0		270000	331616
620100	0		270000	350100
440243	0		270000	170243
813782	0		270000	543782
-67822	67822		0	0
-217350	217350		0	0
-363844	363844		0	0
234447	0		234447	0
617870	0		270000	347870
926283	0		270000	656283
549768	0	649017	270000	279768
567782	0		270000	297782
601616	0		270000	331616
620100	0		270000	350100
440243	0		270000	170243
813782	0		270000	543782
-67822	67822		0	0
-217350	217350		0	0
-363844	363844		0	0
234447	0		234447	0
617870	0		270000	347870
926283	0		270000	656283
549768	0	649017	270000	279768
567782	0		270000	297782
601616	0		270000	331616
620100	0		270000	350100
440243	0		270000	170243
813782	0		270000	543782
-67822	67822		0	0
-217350	217350		0	0
-363844	363844		0	0
234447	0		234447	0
617870	0		270000	347870



## Gestión sostenible del Agua

### Balance hídrico. Reciclaje aguas grises.

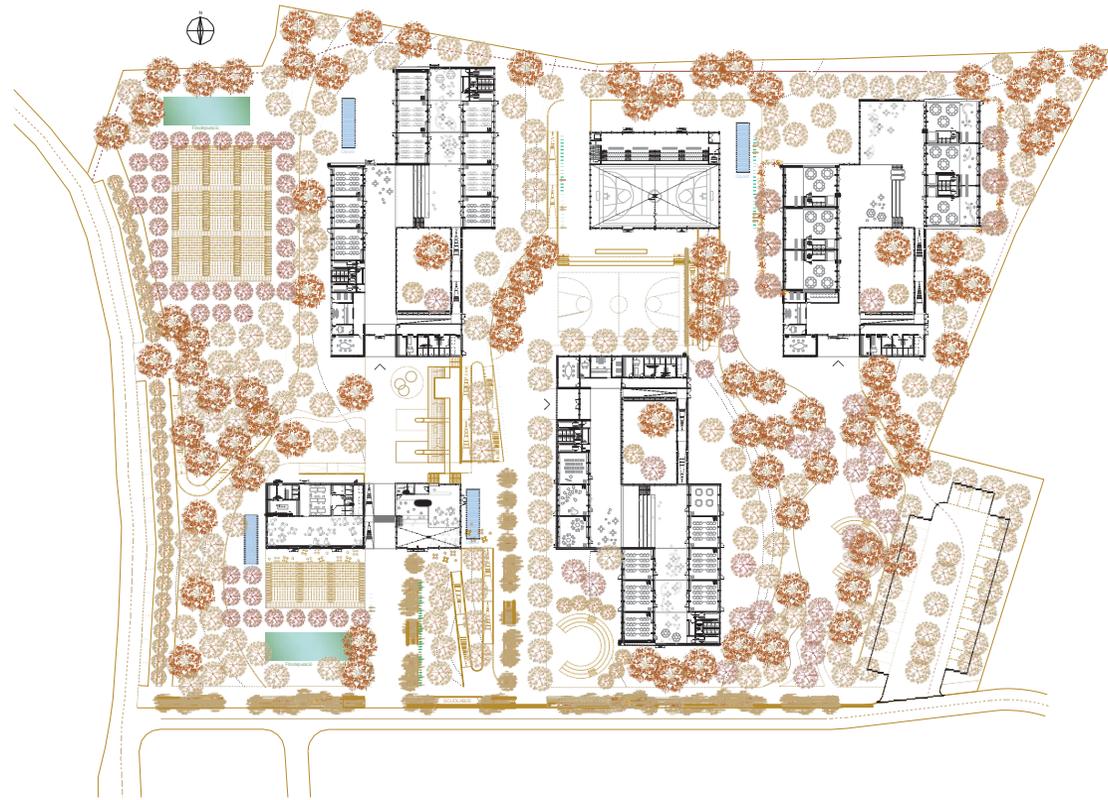
Como medida de disminución de la demanda de consumo de agua de red, también se prevé el reciclaje de las aguas grises previa fitodepuración.

Se propone la depuración natural de aguas grises mediante dos lagunas de fitodepuración laminar horizontal de 130,70m<sup>2</sup> cada una para poder depurar 7.942 l/día resultado de la captación de aguas grises (duchas y desagües de grifos, incluida agua de la cocina previo filtraje de grasas, y aguas amarillas procedentes del aqatron).

Estas lagunas de fitodepuración tendrían una profundidad máxima de 70cm y estarían situadas en cotas inferiores.

La fitodepuración se realizaría mediante macrófitas tipo cañizo (phragmites sp), boga (typha sp), carex sp, juncus sp, etc.

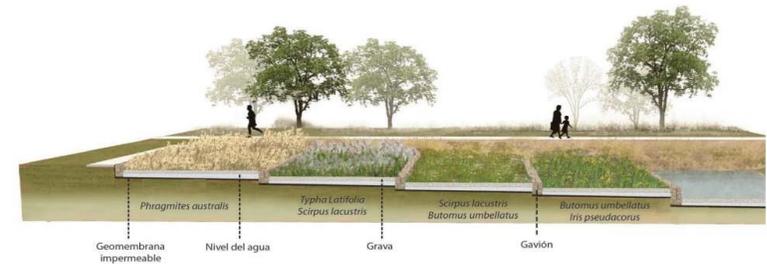
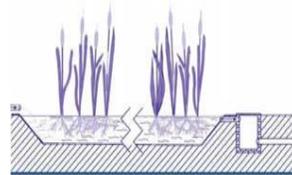
Según los datos de partida y resultados del PLOU en todo el recinto habría un déficit de agua para riego de zonas verdes, huerto y uso en cisternas de inodoros en los meses de junio, julio y agosto. Parte de este déficit se podría cubrir con el agua fitodepurada y así reducir la demanda de agua de red.



**FITODEPURACIO**  
1m<sup>2</sup> aprox 30-35 l/día  
Filtre horitzontal  
mides optimes 1:3  
Fondaria mitja

<b>Cabal mitja abocat l/dia</b>	7.942
<b>260 m<sup>2</sup></b>	2 unitats de
	6,6x19,8m
	70cm

dutxes, lavabo, neteja



## Del Concurso al Taller de proyecto sostenible - algunas reflexiones

En el desarrollo del proyecto, se dieron dos procesos paralelos que consistieron, por una parte, en la integración de nuevos temas que se definen y concretan por primera vez y, por otra, en el cuestionamiento de decisiones tomadas durante el concurso, que conducen a una redefinición del complejo escolar. Nos parece importante reunir aquí estos temas que enriquecen el proyecto original en busca de una mayor sostenibilidad.

### Ciclo de vida de la materia

- Definición de las soluciones técnicas a adoptar en fachada, cubierta, solera, tabiquería y sistema estructural.
- Comparación de la idoneidad de las soluciones innovadoras frente a las convencionales, en términos de impacto ambiental.
- Priorización de sistemas constructivos desmontables frente a otros completamente orgánicos, con el fin de conseguir una mayor reutilización y reciclabilidad en su ciclo de vida.
- Optimización de la composición técnica del edificio, evitando sobrestimar el uso de materiales en la construcción y reduciéndolos.
- Elección de materiales cuya capacidad de absorción y baja emisión de CO2 baje la huella de anhídrido carbónico en el ciclo de vida del edificio.

- Uso de materiales naturales y de proximidad, adecuados al carácter educativo del complejo escolar y al contexto natural que lo rodea.

- Uso del cáñamo como principal constituyente de la envolvente vertical, y como aislante en todo el edificio, debido a sus propiedades altamente cualitativas y sostenibles, además de proceder de la tradición local.

### Usos. Confort y demanda energética

- Definición detallada de usos, ocupación y grado de acondicionamiento de los espacios.
- Definición de estrategias de ventilación y sombreado fijo y móvil de los huecos.
- Definición de cerramientos, de acuerdo con transmittancias aconsejadas y adaptación de la transmitancia de huecos a su orientación solar.
- Reducción de alrededor del 20% de huecos en la cara noroeste del edificio - del 46% al 37% de la superficie de muro.
- Reducción de la superficie acristalada de la cubierta de los atrios, manteniendo apenas las que tienen buena exposición solar.
- Exploración de variantes geométricas en la cubierta de los atrios.
- Planteamiento de usos complementarios y diversificados, que intensifiquen la ocupación del equipamiento, y permitan amortizar la inversión.

### Biodiversidad. Territorio y gestión ecológica

- Definición de red de movilidad pública y de accesos peatonales y para bicicletas seguros y de calidad
- Definición de zonas verdes con objetivos de generar espacios de bienestar y contacto con la naturaleza en la escuela, basados en especies autóctonas y de consumo hídrico adecuado a la pluviometría del lugar.
- Introducción de variedad de especies vegetales para mejora del ecosistema.
- Aumento de zonas permeables en relación a zonas pavimentadas para minimizar efecto isla de calor y mejorar la infiltración del suelo.
- Aumento de la superficie destinada a huerto y frutales para consumo de alimentos ecológicos y para destinar espacio a compostaje de residuos orgánicos.
- Reducción de la superficie destinada a aparcamiento en favor de espacios más permeables y vegetados teniendo en cuenta la accesibilidad peatonal.
- Aumento de espacios para aparcar bicicletas.
- Definición de estrategias de reducción del consumo de agua potable proveniente de red
- Definición de estrategias de gestión sostenible del agua de lluvia y reciclaje de aguas grises. Integración de depósitos pluviales y de lagunas de fitodepuración.
- Posibilidad de no realizar red de alcantarillado y infiltración del agua sobrante a acuífero.

