



Received: 07-11-2020
Accepted: 10-11-2020

Anales de Edificación
Vol. 6, N°3, 35-39 (2020)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2020.4613

Propuesta de implementación de sistema de sensorización y monitorización para la mejora de edificios públicos

Implementing a monitoring system's proposal for the improvement of public buildings

Marta Lucas Bonilla, Beatriz Muriel Holgado, Beatriz Montalbán Pozas

Departamento de Construcción, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Cáceres, España

Resumen—La falta de datos de las variables de funcionamiento, utilización y consumo de recursos de los edificios públicos, actualmente en uso, provoca problemas de consecuencias insostenibles; como derroche de recursos energéticos, situaciones de falta de confort o ineficiencia de los sistemas. Por este motivo, se estima necesario conocer el funcionamiento concreto de los edificios para promover su mejora. Así, el proyecto EFIPUBLIC (Inmótica social para el uso eficiente de edificios públicos) utiliza para la consecución de sus objetivos un sistema inmótico escalable, de código abierto y formada por aproximadamente 150 sensores de bajo coste, que permiten conocer las variables de funcionamiento de la Escuela Politécnica de Cáceres (Universidad de Extremadura). En este artículo se analizan los diferentes tipos de sensores usados en este edificio, de entre los disponibles en el mercado y sus parámetros de medición, así como la disposición de los mismos teniendo en cuenta las características de los edificios, la orientación, el uso y la ocupación de los espacios, para obtener resultados representativos. Las variables medidas han sido: temperatura ambiental, humedad relativa, concentración de CO₂ en el aire, consumo de agua, electricidad y gas, presencia, estado (encendido/apagado) de equipos, temperatura de impulsión y retorno de agua de calderas y aportación de energías renovables. Además, se ha diseñado un sistema de monitorización de datos en una web pública permitiendo así que los usuarios puedan conocer las condiciones ambientales y de consumo de los edificios en cada momento y puedan actuar en consecuencia; por otro lado, se exponen mensajes de concienciación y consejos para el correcto uso de las instalaciones. De esta manera y mediante el proyecto EFIPUBLIC se ha permitido implementar obras de reformas, campañas de sensibilización, cambios en el uso, etc. Este proyecto sigue desarrollándose, mejorando constantemente el uso del edificio, el confort de los usuarios y minimizando los consumos. Trabajar junto con el personal docente: estudiantes y profesores, así como con el personal de administración y servicio, o con el equipo de gestión y mantenimiento del edificio, puede garantizar la continuidad del progreso realizado a lo largo del tiempo

Palabras Clave— Edificio público; eficiencia energética; confort; monitorización; sensorización.

Abstract— The lack of data on the variables of operation, consumption and use of resources of public buildings, currently in use, causes problems with negative consequences, such as waste of energy resources, users' discomfort or inefficiency of systems. For this reason, it is necessary to understand the specific functioning of buildings to improve their performance. Thus, the EFIPUBLIC project (Social inmotics for the efficient use of public buildings) employs, in order to achieve its objectives, a scalable, open source inmotics system

consisting of approximately 150 low-cost sensors that provide the possibility to know the operating variables of the School of Technology of Cáceres (University of Extremadura). This article analyses the different types of sensors used in this building, among those available on the market, and their measuring parameters, as well as their placement, taking into account the characteristics and orientation of the buildings, and use and occupation of the spaces, in order to obtain representative results. The variables measured were: ambient temperature, relative humidity, CO₂ concentration in the air, water, electricity and gas consumption, occupancy, status of equipment (on/off), boiler water supply and return temperature and renewable energy contribution. In addition, a data monitoring system has been designed on a public website, allowing users to know the consumption and environmental conditions of the buildings at all times and so to act accordingly; moreover, awareness messages and advice for the correct use of the facilities are displayed. In this way, and as a result of the EFIPUBLIC project, it has been possible to implement refurbishment works, awareness campaigns, changes in use, etc. This project remains in progress, constantly improving building's usage, users' comfort and minimising consumption. Working together with the educational staff, students and professors, as well as with the administration and service staff, or with the building management and maintenance team, can ensure the continuous improvement made over time.

Index Terms— Public building; energy efficiency; comfort; monitoring; sensorization.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el ser humano es más exigente en lo que a su calidad de vida y confort respecta, por eso, los edificios deben estar cada vez mejor equipados. En la gran mayoría de los edificios no se alcanzan condiciones de confort térmico a pesar de que el sector de la construcción consume más de un tercio del total de la energía primaria mundial (Eurostat, 2020), en gran parte debido a los sistemas de climatización. Uno de los motivos de esta situación es el desconocimiento sobre el estado de los mismos, así como de sus variables de funcionamiento, utilización y consumo, lo que provoca, además, un gran derroche de recursos energéticos y la ineficiencia de los sistemas.

Este problema plantea la urgente necesidad de la implementación de estrategias y tecnologías adecuadas que mejoren el comportamiento de los edificios existentes. El actual desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación permite aportar recursos que garantizan alcanzar unos objetivos de gran eficacia en este ámbito (Ahmad et al., 2016), y que, además, se pueden dirigir a que las construcciones lleguen a convertirse en edificios inteligentes y automatizados (Agarwal et al., 2010).

En la actualidad ya existen algunos estudios de este tipo, en los que se han definido cuales deben ser los datos mínimos que deben obtenerse y el uso de los mismos, con el objetivo de mejorar el rendimiento de los edificios (Xiao and Fan, 2014). Asimismo, se han desarrollado otras experiencias con sistemas de sensorización en edificios públicos, de oficinas, mediante del cual se han conseguido implementar mejoras (Bamodu et al., 2017) o en edificios docentes, estableciendo el concepto de Smart Campus, llevado a cabo por la Universidad de Málaga, donde se ha desarrollado una red de edificios inteligentes a través del Internet de las cosas (IoT) (Fortes et al., 2019), así como en otros edificios no residenciales (D'Agostino et al., 2017; European Commission, 2008).

Los sistemas deben ser de código abierto (Priyanka, 2018) para su fácil escalabilidad, reproducible y de bajo coste (Ciuffoletti, 2018). Y es imprescindible el diseño adecuado de un sistema de sensores en tiempo real (Vellei et al., 2016;

Langevin et al., 2015), así como la monitorización de los datos que permitan involucrar al usuario en la energía consumida, las mejoras térmicas o la calidad del aire interior (Sharmin et al., 2014).

Por este motivo y a través del proyecto EFIPUBLIC (Inmótica social para el uso eficiente de edificios públicos), se ha desarrollado un sistema de información mediante el cual se pretende conocer y realizar un control con el objetivo de mejorar el uso, la eficiencia energética y el confort de los usuarios. Para ello, se utiliza un sistema inmótico implantado en la Escuela Politécnica de Cáceres (a partir de ahora EPCC) de la Universidad de Extremadura.

II. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

La EPCC fue construida en 1989 y ampliada en 2009, y está formada por 5 edificios docentes (pabellón de civil, edificación, informática, servicios comunes y telecomunicaciones), 1 edificio dedicado a la investigación y un laboratorio de acústica, repartidos en 20 mil m² útiles. Este conjunto de edificios, por el que anualmente pasan unas 1700 personas entre estudiantes, docentes y personal de investigación, administración y servicios, se toma como modelo de la investigación con el fin de poder extrapolar los resultados a otros edificios.

Para mejorar el uso, la eficiencia energética y el confort de los usuarios, el proyecto EFIPUBLIC utiliza un sistema inmótico, formado por una red de sensorización y monitorización escalable, de código abierto y de bajo coste que permite medir y monitorizar las variables de funcionamiento del edificio. A diferencia de las facturas tradicionales, este sistema posibilita un análisis más exhaustivo, siendo posible desglosar los consumos en tiempos de lectura más cortos (horas, días...) así como determinar en qué zona se producen. De este modo es posible conocer los hábitos de consumo y tomar las medidas correctas, en el tiempo y lugar adecuado.

El proyecto se inicia con la caracterización de los edificios mediante la toma de datos de lugar (geográficos y climáticos), de la envolvente térmica, del mantenimiento, de distribución y diseño interior, de los sistemas consumidores de energía y agua o del uso y la ocupación estacional, los cuales hacen posible la optimización de la red. Este primer trabajo permite obtener un diagnóstico del edificio y determinar así sus posibles carencias

y debilidades. Además, a partir del estudio previo del edificio, se diseña un sistema de información mediante el cual se gestionan y exponen los datos. En este artículo se analizan dos de los trabajos realizados para el diseño del sistema: la instalación de la red de sensores y el sistema de visualización para la concienciación de los usuarios.

En primer lugar, la elección de los dispositivos es esencial para obtener los datos adecuados. Los sensores miden y transmiten la información a tiempo real y, en lo posible, deberán elegirse de bajo coste, escalables y de código o fuentes abiertas para que permita fácilmente la ampliación de la red con la conexión de nuevos dispositivos al sistema de información. Existen múltiples tipos de sensores para las distintas magnitudes, con distintos protocolos de comunicación, inalámbricos o cableados, con alimentación por baterías o conectados a la red eléctrica. Estos pueden publicar datos directamente a un servidor propio usando protocolos estándar como REST o MQTT o permitir que sean consultados mediante un script. Este requisito de funcionamiento abierto hace inviable la utilización de muchos de los sensores de bajo coste existentes en el mercado, ya que no permiten su reconfiguración y solo envían los datos a sistemas propietarios. La gestión de todo el tráfico de datos se debe realizar a través de un bus de servicios que se encarga tanto de almacenar como de servir la información.

El sistema de visualización se encarga de la exposición de los datos a los diferentes usuarios, entre los que se pueden encontrar gestores y técnicos, personal de limpieza y mantenimiento y usuarios en general, con el objeto de que estos puedan intervenir en el edificio. Para ello, la información almacenada en las diferentes bases de datos se debe encontrar vinculadas al software libre de visualización en el que se muestran los datos que se consideren convenientes en gráficas, imágenes y textos con periodos de tiempo variables. Posteriormente se realiza un análisis de los datos partir del cual se diseñan estrategias de comunicación, que pueden estar orientadas a mejorar el confort de los usuarios, disminuir la demanda energética directa (en instalaciones o equipos) o indirectamente (envolvente, uso y distribución, acciones como ventilación, sombreadamiento, etc.) o a informar, concienciar, persuadir y modificar el comportamiento de los usuarios.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN










En el desarrollo del proyecto EFIPUBLIC realizado en la EPCC se han estudiado y diseñado las siguientes partes: el diseño de una red de sensores y la implementación de una web de exposición y visualización de datos.

A. Diseño de la red de sensores

La red de sensores instalada en la EPCC cuenta con 150 dispositivos y mide los parámetros que definen la eficiencia energética, la ocupación, el confort y los consumos: temperatura ambiental y humedad relativa, concentración de CO₂, consumo eléctrico, de agua y de gas, presencia de personas, estado (encendido/apagado) de los equipos, aportación de energías renovables, temperatura de radiadores y de impulsión y retorno del agua de calderas. Algunos de estos

se han instalado para llevar a cabo ensayos o pruebas para el avance de la investigación; sin embargo, la gestión de todos estos datos se realiza a través de un único bus de servicios empresarial (ESB) Zato ESB. Los sensores utilizados son mayoritariamente inalámbricos y funcionan con baterías (dado que no existía una preinstalación inmótica previa de red eléctrica o de datos). La frecuencia de recolección de datos ha sido elegida respecto a la duración de la carga de las baterías en cada caso, esta se controla desde las pantallas de visualización. Los sensores son de bajo coste, algunos han sido fabricados en la EPCC y cuentan con diferentes protocolos de comunicación. El rango de precisión en la toma de datos ha sido también un factor importante que se ha tenido en cuenta (Tabla).

TABLA I
DISPOSITIVOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LA EPCC

Marca/modelo	Número de unidades instaladas	Comunicación	Alimentación	Parámetro	Precisión	Imagen
RAY STH	23 (1 exterior, 6 en pabellón común, 3 en telecomunicaciones, 13 en informática)	WiFi (con lecturas cada 30 min)	2 pilas LR14	Temperatura y humedad	+/- 0.5 °C +/- 3% RH	
RAY STC	4 (cafetería, salas de reuniones de gran afluencia de personas y laboratorio de informática)	WiFi (con lecturas cada 30 min)	2 pilas LR14	Temperatura, humedad y CO ₂	+/- 0.5 °C +/- 3% RH +/- 3% ppm	
EcoWin (elaboración propia)	29 (1 en pabellón acústica, 10 en edificación, 9 en informática, 1 en investigación, 3 en civil, 3 en el pabellón común, 2 exteriores)	WiFi (con lecturas cada 30 min)	Batería recargable de litio 18650	Temperatura y humedad Carpintería abierta	+/- 0.5 °C +/- 3% RH On/Off	
Circuitur CVM-B150	31 (consumo total en investigación, informática y telecomunicaciones, cada planta de investigación, luces exteriores, zonas comunes salas de consumo)	ModBus Rs-485 con pasarela ModBus/TPC	85...265 Vc.a./120...300 Vc.c.	Analizador de red trifásico de panel con transformadores de intensidad.	En tensión, corriente clase 0,2 En energías clase 0,5S	
Circuitur Wibee	laboratorios de informática y salas de servidores)	WiFi	M/T: 85...265 Vc.a. 3P: 95...440 (Directo del PIA)	Consumo eléctrico	Tensión 1%. Corriente 1%.	
B-Meters GMDM-1 IWM-PL3	15 (contador general, y uno por cada edificio, laboratorios húmedos)	Por pulsos	Sin alimentación	Consumo de agua	10 l/pulso	
Itrón	2 (telecomunicaciones, y resto de edificios de docencia con sistema centralizado)	Por pulsos	Sin alimentación	Consumo de gas	0,1 m ³ /pulso	
EcoCounter (elaboración propia)	1 (en informática)	WiFi	5 Vcc. / 230 Vc.a.	Contador de impulsos mediante Arduino Yun	1 pulso	
Circuitur LM25-M		ModBus Rs-485 con pasarela ModBus/TPC	85...265 Vc.a./120...300 Vc.c.	Centralizador de impulsos ModBus	1 pulso	

La ubicación de estos sensores se ha establecido considerando una distribución en la que se ha tenido en cuenta la representatividad del edificio en los datos que se puedan obtener y los datos del edificio, y se ha constituido así una densa red. De este modo, se han situado los sensores teniendo en cuenta la orientación de las salas (por la diferencia de radiación solar) o la altura de planta (por la estratificación del aire), ya que han resultado ser factores decisivos en la temperatura interior; como se ha observado, en aulas y despachos cuya orientación principal es Este y Oeste se da una mayor temperatura que en las orientadas al Norte, esto mismo ha

sucedido con la temperatura de las plantas altas respecto a las bajas. Además de estos dos factores, se han distribuido según el uso de cada zona, ya que determina diferente actividad, metabolismo y ocupación, como se ha comprobado en laboratorios, despachos y aulas. El análisis previo de todos estos factores ha determinado la situación definitiva de los sensores en el edificio (Fig. 1).

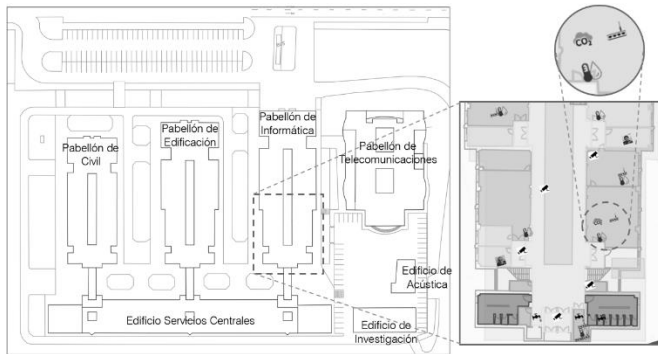


Fig. 1. Plano de la EPCC, y ejemplo de distribución de los sensores en uno de los pabellones.

B. Web de visualización de datos

Asimismo, se ha diseñado un sistema de visualización de los datos a través de la plataforma libre Grafana (Grafana Labs, 2020), en la que por medio de una web de acceso público (<http://smartpolitech.unex.es:4000/?orgId=1>) es posible ver la información recolectada por los sensores y almacenada en la base de datos InfluxDB, (específica para series temporales) (InfluxData, 2019). En la cual los datos almacenados pueden ser visualizados con periodos de tiempo variables, desde los últimos 5 minutos a los últimos 5 años, aunque también es posible establecer un periodo específico de tiempo. Dentro de la plataforma se han planteado distintos paneles o tableros que se exponen vía web o a través de pantallas repartidas por la EPCC.

A cada perfil de usuario se le ha proporcionado los datos de distinto modo, a los gestores e investigadores del edificio se les proporcionan gráficas temporales de gran precisión de las variables almacenadas, para el control, el análisis o la toma de decisiones del edificio; sin embargo, a los usuarios y al público en general se les ofrecen pantallas con información más sencilla y visual basada en técnicas de sensibilización y persuasión para impulsar la participación y cambio de hábitos (Tabla II). Así, en el caso del consumo de agua, para los primeros se han utilizado gráficas de barras y evolución temporal en línea por cada uno de los edificios, incluyendo avisos cuando existe una avería; sin embargo, para los segundos se ha optado por ruedas que utilizan una escala de color rojo/verde para mostrar el consumo de forma clara y visual; además, se avisa del consumo del día de hoy respecto al de ayer para lograr así un cambio de hábitos; en este caso también se ha utilizado, además del valor total de consumo, el que corresponde a cada uno de los usuarios para conseguir un compromiso de acciones que se pueden llevar a cabo de forma individual. Asimismo, se han implantado dentro del sistema de información un protocolo de actuación

mediante alarmas, por correo electrónico y Telegram, a través de las cuales se ha conseguido una rápida detección de fugas y gastos excesivos y una mejora en los tiempos de respuesta ante estos imprevistos, evitando así posibles gastos innecesarios o derroche de recursos. Desde que se han puesto en marchas las alarmas de gasto de agua se ha aumentado la rapidez y la eficacia en las actuaciones ante las averías, que anteriormente podían durar varios días sin ser detectadas. Los datos de consumo eléctrico se muestran a los gestores, administradores e investigadores con gráficas lineales de series temporales, al igual que en las gráficas de consumo de agua; en cambio, para los usuarios se usan gráficas en ruedas que muestran los datos de consumo eléctricos en euros, concienciando así más directamente a los usuarios del consumo eléctrico y su precio. En el caso de la temperatura y humedad para los usuarios se usan imágenes de cada planta de los edificios con los datos medidos en tiempo real sobre el espacio en el que se encuentra el sensor, mientras que para los gestores se siguen utilizando gráficas lineales de series temporales, que facilitan una información más completa, utilizando una gráfica por cada edificio. En ambos casos se añaden las condiciones higrotérmicas exteriores. Estas mismas gráficas se utilizan para mostrar a los gestores la información relativa a la concentración de CO₂; mientras que para los usuarios se utilizan ruedas con una escala de color rojo/verde que indican si la calidad del aire es aceptable o no, a la vez que se aconseja ventilar por encima de las 800 ppm. (Tabla II).

TABLA II
EJEMPLO DE VISUALIZACIÓN DE LAS PANTALLAS DE CONSUMO, CONDICIONES HIGROTÉRMICAS Y CALIDAD DEL AIRE, DISEÑADAS PARA EL GESTOR Y PARA EL USUARIO DE LA EPCC

Parámetro	Para gestor, administrador o investigador	Para usuario y público en general
Consumo de agua		
Consumo eléctrico		
Temperatura y humedad		
Concentración CO ₂		

Estas pantallas están organizadas según las magnitudes medidas en varias carpetas en Grafana, como ambientales, que incluye temperatura, humedad y CO₂; agua, electricidad o gas;

dentro de las cuales hay mensajes, imágenes y gráficos, en los que se engloban los datos de todos los edificios de la EPCC o se muestran individualmente.

IV. CONCLUSIONES

Del desarrollo del presente proyecto se obtienen diversas conclusiones entre las que destaca la importancia de conocer los datos de funcionamiento de los edificios. Una forma fiable de conseguir este objetivo es mediante el uso de la tecnología, implantando un sistema inmótico de sensorización y monitorización en nuestros edificios haciendo así posible el análisis de sus parámetros y permitiendo actuar en consecuencia. Se ha podido comprobar como de la correcta elección de la ubicación y diseño de la red de sensores, y del estudio del sistema de visualización y exposición de datos a los usuarios puede depender el éxito de la implantación de estrategias y mejoras.

Estos sistemas hacen a los edificios cada vez más eficientes y los convierten en edificios inteligentes (Smart Buildings), un camino que lleva a conseguir ciudades inteligentes (Smart Cities) que permitan un mejor funcionamiento y uso de los recursos. Con concienciación y unos buenos hábitos es posible minimizar el consumo de energía primaria mundial del sector de la construcción a la vez que se aumenta el confort de los usuarios.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto EFIPUBLIC (Inmótica social para el uso eficiente de edificios públicos), IB16128, pertenece a la Convocatoria de Proyectos de Investigación en Centros Públicos de I+D+i financiados por la Consejería de Economía e Infraestructuras de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la UE.

REFERENCIAS

Agarwal, Y.; Balaji, B.; Gupta, R.; Lyles, J.; Wei M. (2010). "Occupancy-driven energy management for smart building automation," in 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building, pp. 1–6.

Ahmad, M. W.; Mourshed, M.; Mundow, D.; Sisinni, M. and Rezgui, Y. (2016). "Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research," *Energy Build.*, vol. 120, pp. 85–102, May 2016.

Bamodu, O.; Xia, L. and Tang, L. (2017). "An indoor environment monitoring system using low-cost sensor network," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 660–666, Dec. 2017.

Ciuffoletti, A. (2018). "Low-Cost IoT: A Holistic Approach," *J. Sens. Actuator Networks*, vol. 7, no. 2, p. 19, 2018.

D'Agostino, D.; Cuniberti, B. and Bertoldi, P. (2017). "Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings," *Energy Build.*, vol. 153, pp. 72–86, Oct. 2017.

European Commission (2008). "Monitoring and control of energy consumption in municipal public buildings over the Internet (ENERINTOWN Project)," 2008. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enerintown>. [Accessed: 12-Jan-2020].

Eurostat (2020). C. Europea, "Eurostat," 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy>. [Accessed: 03-Feb-2020].

Fortes, S. et al. (2019). "The Campus as a Smart City: University of Málaga Environmental, Learning, and Research Approaches," *Sensors*, vol. 19, no. 6, p. 1349, Mar. 2019.

Grafana Labs (2020). "The leading open source software for time series analytics," 2020. [Online]. Available: <http://grafana.org>. [Accessed: 29-Dec-2019].

InfluxData (2019). "InfluxDB." [Online]. Available: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.7/>. [Accessed: 29-Dec-2019].

Langevin, J.; Gurian, P. L. and Wen, J. (2015). "Tracking the human-building interaction: A longitudinal field study of occupant behavior in air-conditioned offices," *J. Environ. Psychol.*, vol. 42, pp. 94–115, Jun. 2015.

Priyanka, A. G. (2018). "Review of IoT Market and Open Source Technologies in IoT," *Int. J. Eng. Res. Comput. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 0–5, 2018.

Sharmin, T.; Gül, M.; Li, X.; Ganev, V.; Nikolaidis, I. and Al-Hussein, M. (2014). "Monitoring building energy consumption, thermal performance, and indoor air quality in a cold climate region," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 13, pp. 57–68, Oct. 2014.

Vellei, M.; Natarajan, S.; Biri, B.; Padget, J. and Walker, I. (2016). "The effect of real-time context-aware feedback on occupants' heating behaviour and thermal adaptation," *Energy Build.*, vol. 123, pp. 179–191, Jul. 2016.

Xiao, F. and Fan, C. (2014). "Data mining in building automation system for improving building operational performance," *Energy Build.*, vol. 75, pp. 109–118, Jun. 2014.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.