

LA PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN A TRAVÉS DEL DISEÑO (PtD)

Trabajo Fin de Máster presentado para optar al **Título de Máster en Gestión y Seguridad Integral en Edificación**, en el Itinerario de Iniciación a la Investigación, por Cristina Hidalgo Cantero, siendo tutora la Dra. M^a Dolores Martínez Aires.

Vº. Bº. del Tutor/a

Alumno/a

Fdo. M^a Dolores Martínez Aires

Fdo. Cristina Hidalgo Cantero

Granada, a 11 de Septiembre de 2012

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN Y SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER. ITINERARIO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

CURSO ACADÉMICO 2011-2012

TÍTULO:

LA PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN A TRAVÉS DEL DISEÑO (PtD)

OFF-SITE CONSTRUCTION AS INSTRUMENT FOR PREVENTION THROUGH DESIGN (PtD)

AUTOR/A:

Cristina Hidalgo Cantero

TUTOR/A ACADÉMICO:

Dra. M^a Dolores Martínez Aires. Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada.

RESUMEN:

La siniestralidad laboral en el Sector de la Construcción continúa siendo un motivo de preocupación en las obras que le son propias. Según los datos registrados del Instituto Nacional de Estadística, a pesar de haber descendido el número de accidentes laborales en este sector durante 2011 respecto al año anterior, el Índice de Incidencia sigue siendo el más alto en comparación al resto de sectores productivos en España.

La *Prevención a través del Diseño*¹, promovida por la Directiva 92/57/CEE, se presenta como un instrumento útil para combatir los posibles riesgos en la fase de diseño de un proyecto, mejorando así la Seguridad y Salud de los trabajadores del Sector de la Construcción. Por otro lado, Prefabricación e Industrialización (construcción *off-site*), enmarcada en un contexto de *Construcción Lean*, supone una herramienta eficaz para establecer la adopción de la PtD en los proyectos de Construcción, debido a que esto supone un mayor control de los procesos constructivos.

En este trabajo se analizarán los beneficios de la PtD y la Construcción *off-site* como herramientas para la disminución de la siniestralidad en el Sector de la Construcción. Para ellos, se realiza un análisis bibliométrico básico con el fin de comprobar si la *Prefabricación e Industrialización* están siendo utilizadas como una herramienta de prevención de siniestralidad laboral desde la fase de diseño de un proyecto.

PALABRAS CLAVE:

Prevención a través del Diseño (PtD), Prefabricación, construcción, Seguridad y Salud, prevención.

¹ En lo que sigue nos referiremos *Prevención a través del Diseño* (en inglés, Prevention Through Design) mediante las siglas PtD.

ABSTRACT:

Occupational accidents in Construction Sector continues being a cause for concern at its own worksites. According to the recorded data of Spanish National Institute of Statistics (INE) and despite the accidents have been reduced in this sector during 2011 with respect to the previous year, the incidence rate is still the highest as regard with each productive sector in Spain.

Prevention through Design, promoted by Directive 92/57/CEE, is presented as an useful instrument for fighting against possible risks in the design phase of a project, so the Health and Safety of construction workers can be improved. On the other hand, Prefabrication and Industrialization (Off-site Construction), focused on a *Lean* context, introduce an effective tool for establishing the Prevention through Design adoption in construction projects, because it allows more control on the constructive processes.

In this memory, the main advantages of PtD and Off-site Construction will be analyzed such instruments aimed to reduce the fatalities in Construction Sector. Therefore, a basic bibliographic analysis will be done for checking if Prefabrication and Industrialization are used like a prevention tool that avoids fatal worksite accidents from early design phase of a project.

KEYWORDS:

Prevention through Design (PtD), off-site construction, prevention, Safety and Health, prevention.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi tutora M^a Dolores Martínez Aires todo su apoyo y esfuerzo, pues sin su ayuda no lo habría conseguido. Del mismo modo, le doy las gracias por todo lo que he aprendido de ella, como profesora y como persona.

También doy las gracias a mi familia, mis padres, mi hermano y mi abuela, y a mi novio Alfonso, quienes me han apoyado y han creído en mí todo este tiempo.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS	13
2. METODOLOGÍA	15
2.1. BÚSQUEDA Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	15
2.2. CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS.....	16
2.3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	17
3. INTRODUCCIÓN	19
3.1. SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA	19
3.2. ACCIDENTALIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UE.....	19
3.2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TASAS DE INCIDENCIA DE LOS ACCIDENTES EN LA UNIÓN EUROPEA.....	24
3.3. CULTURA PREVENTIVA	29
3.4. LEGISLACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA	30
3.4.1. DIRECTIVA 92/57/CEE	30
3.4.2. TRANSPOSICIÓN DE LA DIRECTIVA 92/57/CEE EN ESPAÑA: RD 1627/97.....	31
4. LA PREVENCIÓN A TRAVÉS DEL DISEÑO (PtD)	33
4.1. ESTADO DEL ARTE.....	33
4.1.1. ¿QUÉ ES LA PREVENCIÓN MEDIANTE EL DISEÑO (PTD)?	33
4.1.2. ORIGEN Y CAUSAS DE LOS ACCIDENTES DE CONSTRUCCIÓN. IMPACTO DE LA PtD.	37
4.1.3. IMPORTANCIA DE LAS PARTES INTERVINIENTES EN EL PROYECTO CONSTRUCTIVO PARA LA ADOPCIÓN DE LA PtD	40
4.2. VENTAJAS Y BARRERAS FRENTE A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PtD.....	44
4.2.1. VENTAJAS	44
4.2.2. OBSTÁCULOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN	45
4.2.3. HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO PtD.....	48
5. PREFABRICCIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN	57
5.1. ANTECEDENTES Y ORÍGENES DE LA PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN	57
5.2. ESTADO DEL ARTE.....	60
5.2.1. INDUSTRIALIZACIÓN Y PREFABRICACIÓN	60
5.2.2. EVOLUCIÓN DE LA PREFABRICACIÓN CERRADA A LA INDUSTRIALIZACIÓN ABIERTA.....	62
5.2.3. MARCO ACTUAL INTERNACIONAL	64
5.3. ESTADO DEL ARTE EN ESPAÑA	68

5.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA CONSTRUCCIÓN <i>OFF-SITE</i> EN EDIFICACIÓN	74
5.4.1. VENTAJAS	74
5.5. INCONVENIENTES Y OBSTÁCULOS EN SU UTILIZACIÓN	76
5.6. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN <i>OFF-SITE</i>	76
5.7. EL CONCEPTO DE <i>LEAN CONSTRUCTION</i> Y LA SOSTENIBILIDAD APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN <i>OFF-SITE</i>	82
5.7.1. CONCEPTO DE <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	82
5.7.2. RELACIÓN ENTRE <i>LEAN CONSTRUCTION</i> Y LA SOSTENIBILIDAD Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN <i>OFF-SITE</i>	84
6. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO	89
6.1. PASOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS	89
6.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	94
7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	95
7.1. CONCLUSIONES	95
7.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	97
8. REFERENCIAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de incidencia estandarizado de los accidentes laborales en términos de actividad económica, severidad y sexo (índice por 100.000 trabajadores). Pérdida de más de tres días (ausencia de cuatro días o más) en 2005, Unión Europea (15 países).	19
Figura 2. Índice de incidencia de los accidentes de construcción según el tamaño de la empresa en España, durante el año 2010.....	22
Figura 3. Índice de incidencia estandarizado de los accidentes laborales entre 2001 y 2007, según la actividad económica, severidad y edad (índice por 100.000 trabajadores). Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más).....	24
Figura 4. Índice de incidencia de accidentes en jornada de trabajo, con baja, por sector y división de actividad (por 100.000 trabajadores) en España. Periodo 2006 a 2011.	25
Figura 5. Variación del Índice de Incidencia estandarizado de los accidentes laborales entre 1995 y 2005, según la actividad económica, severidad y edad (índice por 100.000 trabajadores). Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más).....	27
Figura 6. Logo for the U.S. NIOSH PtD initiative.	33
Figura 7. Jerarquía de medidas de control de riesgos.	34
Figura 8. Estrategia nacional de Prevención a través del diseño.....	35
Figura 9. Curva de influencia tiempo/seguridad.....	35
Figura 10. Jerarquía de las influencias en accidentes en el sector de la construcción.....	38
Figura 11. Modelo de Causalidad de los Accidentes en Construcción de la Universidad de Loughborough utilizando el modelo de las placas de Reason.	39
Figura 12. El proceso de Seguridad para los Trabajadores de la Construcción (DfCS).....	43
Figura 13. Toma de decisiones unilateral frente a la participativa.....	44
Figura 14. Factores e impactos de la implementación de la PtD.	49
Figura 15. Enfoque de Enseñanza para las categorías sociales de la Construcción Sostenible.	54
Figura 16: Sistemas de módulos apilables. Edward T. Potter.	58
Figura 17. Sistema de medidas El Modulor de Le Corbusier.	59
Figura 18. Edificio de Bolshaya Kaluzhskaya, Moscow. Construcción industrializada basada en diseños cerrados. Distribución en planta.	62
Figura 19. Cuatro categorías de Prefabricación, definiciones, subcategorías, ejemplos y principales materiales.....	67
Figura 20. Edificio Woolverhampton Student hall. Woolverhampton, Reino Unido.	68
Figura 21. Escuela Gerbert d’Orlhac en Sant Cugat, España.	70
Figura 22. Casa Kyoto en Tarragona, España.	71
Figura 23. Promoción de 484 viviendas realizadas con paneles prefabricados de hormigón en España.....	72
Figura 24. Opiniones de los clientes sobre los beneficios de la Prefabricación.....	77

Figura 25. Ventajas de la aplicación de la Prefabricación.	79
Figura 26. Obstáculos de la aplicación de la Prefabricación.	79
Figura 27. Conceptos <i>Lean Construction</i>	83
Figura 28. Modelo conceptual:Efecto de Lean en la sostenibilidad.....	87
Figura 29. Red de nodos de los artículos pertenecientes al Capítulo 4 de Prevenición a través del Diseño (PtD).	91
Figura 30. Red de nodos de los artículos del capítulo cinco, correspondiente a la Prefabricación e Industrialización.....	92
Figura 31. Red de nodos procedente de la relación de los dos conceptos objeto de este estudio, la Prevenición a través del Diseño y la Prefabricación e Industrialización.....	93
Figura 32. Implementación de la Prevenición a través del Diseño (PtD) mediante la educación y empleo de la Prefabricación enmarcada en los principios <i>Lean</i>	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Percepciones de los trabajadores de la construcción acerca de los riesgos derivados de sus funciones.	23
Tabla 2. Índice de incidencia de accidentes laborales (por 100.000 trabajadores) en el año en que la Directiva 92/57/CEE fue implementada en cada país. Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más).....	28
Tabla 3. Clasificación de los niveles de Construcción <i>off-site</i>	61
Tabla 4. Información histórica anual: obras de nueva planta periodo 2003 – 2010.	69
Tabla 5. Clasificación de los beneficios en orden decreciente de acuerdo a la importancia y probabilidad.	78
Tabla 6. Ocurrencia de los 10 principales nodos.	90
Tabla 7. Matriz de Adyacencia de términos de la parte correspondiente al capítulo 4 de Prevención a través del Diseño (PtD).	92
Tabla 8. Matriz de Adyacencia de términos de la parte correspondiente al capítulo 5 de Prefabricación e Industrialización.....	93

1. OBJETIVOS

En los últimos años se está produciendo un descenso en la tasa de siniestralidad en el Sector de la Construcción, según el INE (INE, 2012), en 2011 se registraron un 20,89% menos accidentes respecto al año anterior. Sin embargo, el Índice de Accidentalidad en España de dicho sector es el mayor que en el resto de sectores productivos. Esto mismo ocurre en los países miembro de la Unión Europea, según la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHA, 2012-1) de el Sector de la Construcción tiene uno de los peores historiales de seguridad y salud laboral de toda Europa.

El primer objetivo de este trabajo es conocer los accidentes producidos en el Sector de la Construcción en España y en la Unión Europea, así como su Índice de Incidencia. También interesará la legislación relativa a condiciones mínimas de seguridad en la Construcción como, por ejemplo, el Real Decreto 1627/97², transposición de la Directiva 92/57/CEE³. En la exposición de motivos de la necesidad de dicha Directiva, se indica que resulta necesario reforzar la coordinación entre las distintas partes que intervienen ya desde *la fase de proyecto*.

Se ha podido comprobar mediante diversas investigaciones que, en la mayoría de los casos, los accidentes en la Construcción están relacionados con decisiones arquitectónicas tomadas en la fase de redacción de los proyectos. Uno de los objetivos de esta Memoria se centra en investigar la implementación de la PtD como herramienta de medida para eliminar o mitigar los riesgos para los trabajadores en las obras de Construcción.

Así mismo, se desea conocer el impacto de considerar la Seguridad y Salud desde la fase de diseño de un proyecto, así como si existe relación con el uso de la Prefabricación y, por tanto, de la Industrialización (construcción *off-site*). Es decir, si la Industrialización se percibe como motor de la implantación de la seguridad en obra desde sus comienzos en la etapa de proyecto.

Para alcanzar estos objetivos, se realiza una amplia búsqueda bibliográfica para conocer el estado del arte de la PtD, incluyendo sus ventajas, obstáculos y herramientas para su implementación. Del mismo modo, se analiza la Prefabricación e Industrialización y su evolución histórica. Se estudian los beneficios de la PtD y la Prefabricación como herramientas para de disminución de la siniestralidad en el Sector de la Construcción.

El principal, y último, objetivo de este trabajo consiste en comprobar, analizando las publicaciones científicas que se ocupan de Prefabricación e Industrialización (construcción *off-site*), si la PtD es utilizada como una herramienta de prevención de la siniestralidad laboral. Para ello, se ha utilizado un software específico para Bibliometría, Evaluación de la Ciencia y Vigilancia Tecnológica, desarrollado en la Universidad de Granada, denominado *REDES 2005*, que permite realizar un análisis bibliométrico básico orientado a tal fin.

² Real Decreto 1627/97, de 24 de octubre de 1997, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

³ Directiva 92/57/CEE, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras de construcción, temporales o móviles.

2. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la realización de este trabajo ha sido:

- BÚSQUEDA Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.
- CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS.
- OBTENCIÓN DE CONCLUSIONES.

El trabajo de campo para llevar a cabo la primera de las fases anteriores ha consistido en la realización de una amplia revisión bibliográfica como se detalla a continuación.

2.1. BÚSQUEDA Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la búsqueda de la información necesaria se han utilizado:

- **BASES DE DATOS:** Para la búsqueda de artículos científicos actualizados en el tema al que se refiere el estudio, se han utilizado como las bases de datos SCOPUS y WEB OF KNOWLEDGE y, en ocasiones, también se utilizó la base de datos REBIUN.

Para realizar la búsqueda en las bases de datos, se han utilizado como principales palabras claves las siguientes:

- Prevention through Design, Construction, Safety
- Prefabrication, Construction, Safety
- Prevention, Design, Prefabricated construction
- Design for Construction Safety, prevention
- Lean Construction, Safety
- Off-site Construction, Safety
- Prevention through Design, education, culture prevention

También se ha realizado una búsqueda por autores. Dichos autores son investigadores de prestigio internacional especializados en la materia objeto de este trabajo. Entre los autores investigados destacamos: John Gambatese, Fred A. Manuele, Alistair Gibb, Michael Behm, Jimmie W. Hinze, T. Michael Toole y Matthew Hallowell. Además, entre los autores españoles especializados en Prefabricación e Industrialización que destacan en la búsqueda son: J. Salas, V. Gómez Jaúregui, C. Ruiz-Larrea o F. Pich-Aguilera, entre otros.

La búsqueda de documentos técnicos acerca de la Prefabricación e Industrialización en España no se ha realizado a través de SCOPUS, dado que no se obtuvieron resultados satisfactorios. En su lugar, se hizo a través de la edición electrónica de la revista científica del CSIC 'Informes de la Construcción'.

Todas las publicaciones buscadas estaban enmarcadas en el periodo 2000 al 2012.

- **TESIS DOCTORALES:** Las dos principales Tesis Doctorales que han sido de mayor importancia y utilidad para este estudio han sido:

- ❖ Martínez Aires, M^a Dolores. Tesis doctoral. *"Análisis de la Gestión de Prevención de Riesgos Laborales en el Sector de la Construcción en Europa. La Prevención a través del Diseño (PtD) en España y Reino Unido"* (Universidad de Granada). 2009.
- ❖ Esteban Gabriel, Jesús. Tesis Doctoral. *"Estudio sobre la integración de la prevención en la fase de redacción de los proyectos"* (Universidad Politécnica de Madrid). 2011.

- **CONSULTAS EN PÁGINAS WEB:** Las principales a las que se ha accedido con motivo de consulta en el tema de estudio han sido:

- Web oficial del Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Web oficial de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
- Web oficial Design for Construction Safety
- Web Safety in Design
- Web Design Best Practice in the United Kingdom
- Web oficial del Instituto Nacional de Estadística
- Web oficial del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional
- Web oficial Health and Safety Executive (HSE)
- Web oficial de Eurostat
- Web oficial del Ministerio de Empleo y Seguridad Social

2.2. CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS

Los artículos y documentos relacionados con el objetivo de este proyecto de investigación, se han exportado a la plataforma REFWORKS. Dicha herramienta informática ha sido de gran utilidad en la clasificación y orden de los artículos relacionados con los temas y subtemas que forman parte de la investigación. En total, para esta investigación se han seleccionado, de todas las búsquedas realizadas 166 artículos científicos.

Además, se ha consultado el libro de Actas del Congreso Internacional **CIB 99**⁴.

Así pues, una vez seleccionados y clasificados los documentos, se pasó a la lectura y análisis de los mismos, realizando una revisión de todos ellos o, al menos, de los más representativos, de manera que la revisión bibliográfica propuesta para este trabajo estuviera actualizada al máximo y recogiera ampliamente los resultados de los estudios ya realizados en el tema objeto de esta Memoria: *"La Prefabricación como herramienta útil para la implementación de la Prevención a través del Diseño en España"*.

Para completar el análisis de los documentos científicos obtenidos mediante búsqueda bibliográfica, se ha realizado un estudio sobre otros documentos. Entre ellos cabe destacar la normativa que forma el marco legal básico de la Prevención en Seguridad y Salud en el Sector de la Construcción:

⁴ CIB W099 Congreso Internacional para la Investigación e Innovación en la Edificación y la Construcción, 2011.

- La **Directiva 92/57/CEE** (Directiva 92/57/CEE, 1992), de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles. Se trata de la octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva Marco 89/391/CEE, de 12 junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- **El Real Decreto 1627/97**, de 24 de octubre de 1997, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Este Real Decreto procede de la transposición de la Directiva europea 92/57/CEE.
- La Ley de Prevención de Riesgos Laborales **LPRL 31/1995**, de 8 de noviembre de 1995.

Junto a la normativa europea y su transposición al marco normativo español, se han analizado otras normativas o estrategias adoptadas en otros países relacionadas con el concepto de PtD en el Sector de la Construcción. Entre ellas destacamos:

- En **Estados Unidos**, la estrategia denominada *American National Standard: Prevention Through Design: Guidelines for Addressing Occupational Hazards and Risks in Design and Redesign Processes*, ASSE, ANSI/ASSE Z590.3.
- En **Reino Unido**, la normativa denominada *Construction Design & Management* (CDM Regulations), derogada posteriormente por CDM Regulations 2007.
- En **Australia** se desarrolló la Estrategia Nacional de Australia SST 2002-2012, denominada Safe Design for Engineering Students, Australian Government.

Por último, para el estudio de los Índices de siniestralidad y accidentalidad en el Sector de la Construcción en España y resto de países europeos, así como de los datos relacionados con el volumen de construcción, se han utilizado los datos del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, del Instituto Nacional de Estadística y la base de datos de la Unión Europea, Eurostat.

2.3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Realizado el análisis bibliométrico de los documentos científicos seleccionados, se llegaron a una serie de conclusiones que confirman que la Prefabricación, por sus características, es una excelente herramienta para la difusión de la PtD.

Sin embargo, el análisis bibliométrico ha reflejado que, en los artículos estudiados, no se establece una relación directa entre los dos conceptos.

Estas conclusiones hacen plantearse como futura línea de investigación la posibilidad de realizar un análisis cualitativo mediante un panel de expertos con el fin de conocer si la decisión del uso de prefabricados en la fase de diseño proyecto tiene entre otros enfoques, la prevención de accidentes en la fase de construcción.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA

La construcción supone un desarrollo estratégico para el desarrollo de la economía de los países pertenecientes a la UE, dada su importante infraestructura y apoyo a otros sectores de la economía. La Federación Europea de Industria la Construcción (FIEC, 2012), estimó una inversión en construcción de 1.208 millones de euros de los países de la UE-27 durante el ejercicio de 2011 (9,6% del PIB y 51,5% de la formación bruta de Capital fijo). Luego, se trata de un importante sector económico, con 3,1 millones de empresas (el 95% de los cuales tienen menos de 20 trabajadores) y un total de 14,6 millones de operarios, lo cual equivale al 7% de la mano de obra europea total y un 30% de la mano de obra industrial. De hecho, los 43,8 millones de trabajadores en la Unión Europea dependen directa o indirectamente del sector de la construcción.

En España, según datos del INE (INE, 2012) en el ejercicio de 2010 la construcción representaba el 11,94% de la estructura porcentual del PIB. Además, la construcción contaba con 371.125 empresas y 1.659.525 trabajadores en el sector (Ministerio de Fomento, 2012).

3.2. ACCIDENTALIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UE

Debido a su particular naturaleza, la industria de la construcción está entre los sectores con los mayores riesgos de accidentes en el mundo (Jannadi & Assaf, 1998; Jannadi & Bu-Khamsin, 2002), y en la mayoría de los países el índice de accidentes mortales es más alto en el sector de la construcción que en cualquier otro (Alves, 1999; Suraji *et al.*, 2001).

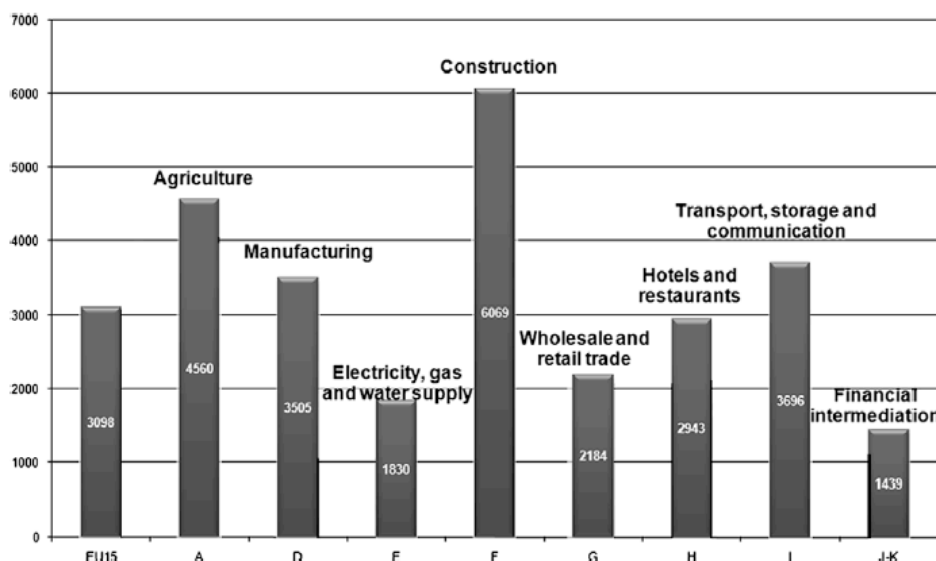


Figura 1. Índice de incidencia estandarizado de los accidentes laborales en términos de actividad económica, severidad y sexo (índice por 100.000 trabajadores). Pérdida de más de tres días (ausencia de cuatro días o más) en 2005, Unión Europea (15 países).

Fuente: (Martínez Aires, 2009).

La fig. 1 muestra cómo la tasa de incidencia estandarizada de los accidentes laborales en el sector de la construcción es el más alto del sector industrial en la Unión Europea.

La construcción es el principal motor de empleo en muchas partes del mundo y, en consecuencia, es importante su relativamente alta tasa de accidentes, lesiones y enfermedades. La Organización Internacional del trabajo (OIT, 2005) proporciona las siguientes cifras:

- al menos 60.000 accidentes fatales ocurren cada año en obras de construcción del mundo. Esto es equivalente a una muerte cada diez minutos;
- uno de cada seis accidentes mortales tiene lugar en las obras de construcción;
- en los países industrializados, 25-40% de todos los accidentes mortales se producen en obras de construcción;
- en algunos países el 30% de los trabajadores de la construcción sufren dolores de espalda, dolores y lesiones musculo - esqueléticas;

En la quinta Encuesta Europea de condiciones de trabajo de 2010, se obtuvo que un 33% de los trabajadores tiene que manipular cargas pesadas durante al menos una cuarta parte de su jornada laboral, mientras que el 23% está expuesto a vibraciones. Además, casi la mitad del total de trabajadores (46%) desempeña su labor en posturas causantes de fatiga o dolor durante al menos una cuarta parte de su jornada. Por otra parte, los movimientos repetitivos de mano o brazo constituyen una característica del trabajo de más europeos que hace diez años. (OSHA⁵-2, 2012).

Estudios recientes muestran que los accidentes laborales se deben a múltiples factores (Gibb *et al.*, 2006; MacDonald, 2006; Abreu Saurin & Buarque, 2006; Whitaker *et al.*, 2003; Huang & Hinze, 2003; Sawacha *et al.*, 1999). El contexto en el cual se lleva a cabo el trabajo de construcción, así como sus características son muy importantes pues, en muchos casos impiden una efectiva gestión del riesgo y de prevención de accidentes. El entorno de trabajo de construcción es por naturaleza dinámica y las exposiciones pueden variar considerablemente durante el proyecto. Muchas empresas de oficios diferentes están simultáneamente presentes en el lugar de trabajo. Otros factores a tener en cuenta son el alto porcentaje de subcontratación, el hecho de que cada proyecto es único y también el número de trabajadores inmigrantes que no están familiarizados con los métodos y materiales de construcción y que, a menudo, no hablan el idioma local. También se aumenta el riesgo en entornos de construcción porque el personal de construcción trabaja principalmente en el exterior y debe lidiar con condiciones climáticas adversas. El gran número de turnos de trabajadores también es un problema, así como la falta de formación profesional y la ausencia de una cultura de seguridad (Lipscomb *et al.*, 2006; Rubio *et al.*, 2005; Chi *et al.*, 2005).

Otro aspecto es la falta de formación y educación. Resulta relevante que muchas de las personas que trabajan en la industria de la construcción abandonan los estudios

⁵ OSHA: Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. (Posee personalidad jurídica).

antes de obtener un diploma de escuela secundaria (Martínez Aires, 2009). Este hecho se halla vinculado a la accidentalidad del sector de la construcción, pues según la información existente acerca de la tasa de incidencia de accidentes, se demostró que en los países en los que hay un alto número de deserción de la escuela secundaria también son aquellos con el mayor número de accidentes en el trabajo (Eurostat, 2006; Eur Lex, 2002), como es el caso de España y Portugal.

En consecuencia, la formación y educación en materia de prevención de riesgos también debe afectar a los trabajadores de la construcción, para tratar de transformar en hábitos los comportamientos seguros en el lugar de trabajo. El problema que presenta la prestación de educación a este sector de la construcción es que resulta difícil llevar a cabo planes de formación, dado el acelerado ritmo de la obra y la necesidad de entregarla en el plazo acordado, por lo que como consecuencia, los empresarios no permiten ausencias prolongadas del lugar de trabajo (Carvajal & Pellicer, 2009).

En base a la afirmación anterior, se pueden considerar las Tarjetas Profesionales muy útiles para garantizar la formación en Seguridad y Salud de los profesionales del sector de la Construcción, pues la Fundación Laboral de la Construcción (FLC, 2012) afirma que avala la experiencia, cualificación profesional y formación recibida. En España están disponibles desde enero de 2012 (tarjeta TPC41).

Así pues, dada la importancia de la formación en los trabajadores de la construcción, Ismail *et al.* (2011) llevaron a cabo un estudio donde el objetivo era determinar los factores influyentes que son responsables del éxito del sistema de gestión de la seguridad para las obras de construcción, para lo cual se determinó el número de incidencias entre los trabajadores de la Construcción y su nivel de conocimiento en materia de seguridad, a través de un cuestionario dividido en tres partes. En este estudio se concluyó que el factor más influyente en la determinación del éxito del sistema de gestión de seguridad era el factor Personal, y entre los sub-factores, el más significativo fue asumir la importancia de la seguridad. Luego se expresa la necesidad de trabajadores mejor preparados e informados en materia de seguridad.

Otro dato importante a destacar acerca de la accidentalidad en el sector de la construcción es que presenta una relación estrecha con las PYMEs, las cuales representan el 99% de las empresas de la construcción de la Unión Europea (OSHA, 2012). De hecho, en Reino Unido 'the Health and Safety Executive' afirma que el 60% de los accidentes se dan en empresas con menos de 15 trabajadores (HSE, 2012). Así, los resultados del estudio llevado a cabo por Camino López *et al.* (2008) afirman que la probabilidad de que ocurran accidentes graves es mayor en las empresas con menos de 25 trabajadores.

En el gráfico siguiente (ver fig. 2), se muestra cómo las empresas con menor número de trabajadores, presentan un Índice de Incidencia en los accidentes de trabajo superior al de las empresas más grandes.

Es sabido que en las pequeñas y medianas empresas (PYME) es necesaria una planificación de la prevención de riesgos más amplia y eficaz (Camino López *et al.*, 2008) y que las PYMES deben de ser el objetivo principal del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

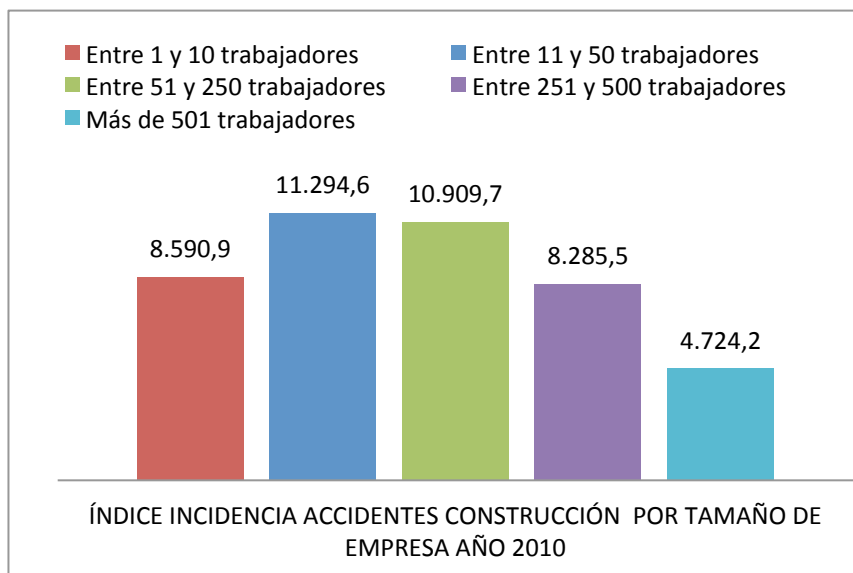


Figura 2. Índice de incidencia de los accidentes de construcción según el tamaño de la empresa en España, durante el año 2010.

Fuente: (INSHT, 2012).

Camino López *et al.* (2008) analizaron los factores involucrados en la situación española. Según datos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo relativos al periodo Julio 2011 a Junio 2012 (INSHT, 2012), el 13,51% representa el porcentaje de accidentes laborales ocurridos en el sector de la construcción, siendo el 98,5% leves. Sin embargo, el Índice de Incidencia de accidentes mortales, sigue siendo el más alto de todos los sectores con una puntuación de 6.462, donde un 10,4 corresponde a accidentes mortales.

El problema, por supuesto, no sólo se limita a España sino que existe a escala mundial. Estos riesgos han sido estudiados por diversos autores (Hinze *et al.*, 1998; Janicak, 1998; Jeong, 1998; Kines, 2002; Larson & Field, 2002; Huang & Hinze, 2003; Macedo & Silva, 2005; Müngen & Gürcanli, 2005), quienes están de acuerdo en que las caídas en altura están entre los accidentes más frecuentes en la industria de la construcción y es una de las mayores causas de muerte.

Además otros trabajos de investigación llegaron a la conclusión de que la preparación del encofrado para estructuras de hormigón era la fase más peligrosa con relación a las caídas (Jannadi & Asaf, 1998; Zambianchi, 2007) y encontraron que el riesgo más alto de todos se daba en el encofrado de los forjados (Adam *et al.*, 2007).

Por otro lado, en el Cuestionario del Trabajador de la construcción llevado a cabo por la VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo del Ministerio de Empleo y Seguridad Social (INSHT, 2011), muestra los porcentajes de respuestas de una

muestra de 691 trabajadores, en lo que respecta a sus percepciones de los riesgos de accidentes más probables en el trabajo (ver tabla 1).

Riesgos de accidente	% Trabajadores
Caídas de personas desde altura	55,7
Caídas de personas al mismo nivel	41,5
Caídas de objetos, materiales o herramientas	42,7
Desplome o derrumbamientos	25,2
Cortes y pinchazos	45,6
Golpes	49,1
Atropellos, atrapamientos o aplastamientos por vehículos	11,0
Atrapamientos o aplastamientos con equipos o maquinaria	18,7
Proyección de partículas o trozos de material	23,0
Quemaduras	11,4
Daños producidos por un exceso de exposición al sol	12,7
Incendios	3,9
Explosiones	3,9
Daños producidos por animales	1,4
Contactos eléctricos	15,8
Sobreesfuerzos por manipulación manual de cargas	23,2
Intoxicación por manipulación de productos tóxicos	6,8
Accidentes de tráfico	14,9
Atracos, agresiones físicas y otros actos violentos	1,9

Tabla 1. Percepciones de los trabajadores de la construcción acerca de los riesgos derivados de sus funciones.

Fuente: (INSHT, 2012).

Para finalizar, la Dra. M^a Dolores Martínez Aires (Martínez Aires, 2009) concluye en su trabajo doctoral:

“La siniestralidad laboral en el sector de la Construcción en Europa está estrechamente relacionada con la estructura de las empresas, la normativa legal vigente en cuanto a subcontratación se refiere y con la formación de los trabajadores”.

3.2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TASAS DE INCIDENCIA DE LOS ACCIDENTES EN LA UNIÓN EUROPEA

De acuerdo a ciertas investigaciones realizadas (Camino López *et al.*, 2009; Müngen & Gürcanli, 2005), España tiene uno de los índices más altos de accidentalidad de la Unión Europea. Así datos disponibles de España del año 2007 (EUROSTAT, 2012) muestran que España representa un Índice de Incidencia estandarizado en el sector de la construcción correspondiente a 8090, en segunda posición, tras Luxemburgo, respecto al resto de países de EU15.

En este sentido, en el siguiente gráfico (ver fig.3), se muestra el Índice de Incidencia en accidentes que presenta España respecto al resto de países de la Unión Europea desde 2001 a 2007 y se deduce que España junto a Luxemburgo son los países miembro con la tasa más elevada.

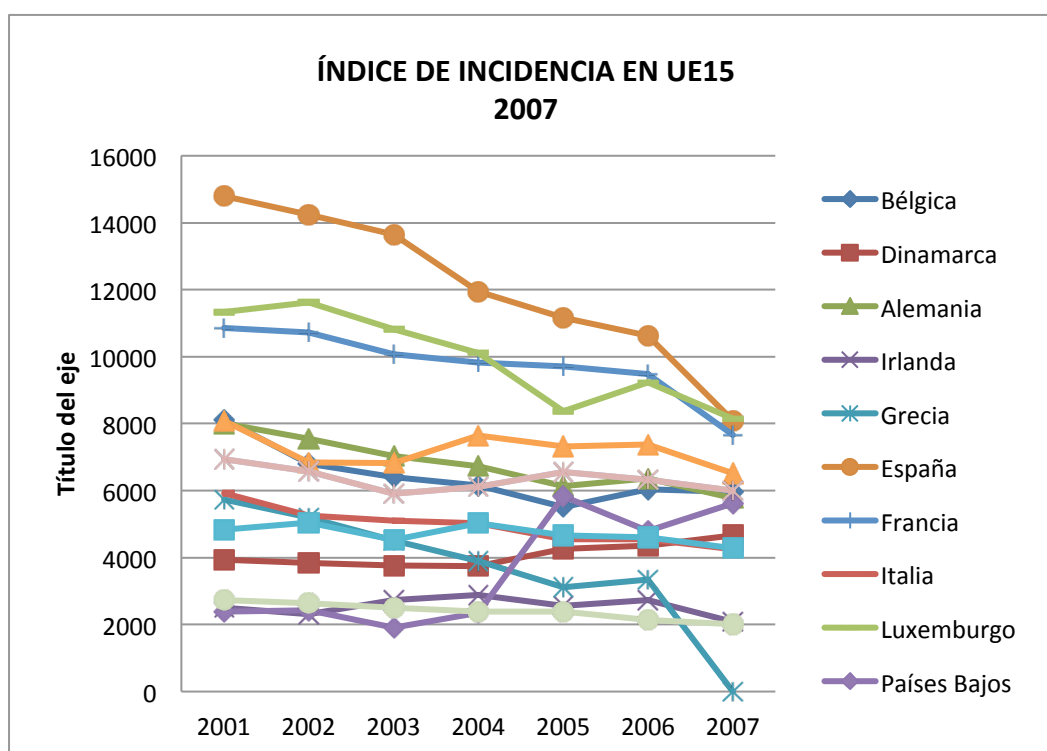


Figura 3. Índice de incidencia estandarizado de los accidentes laborales entre 2001 y 2007, según la actividad económica, severidad y edad (índice por 100.000 trabajadores). Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más). Fuente: (EUROSTAT, 2012).

También el (Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2012-1) concluyó en el informe de siniestralidad de julio 2011 a junio de 2012, que se produjeron 59.115 accidentes relacionados con la construcción, de los que 58.243 fueron leves, 777 graves y 95 mortales.

El gráfico siguiente (ver fig. 4) presenta la evolución en la tasa de incidencia de accidentalidad del sector de la construcción en España, respecto al resto de sectores y, se aprecia que, aunque ha disminuido a lo largo del periodo 2006-2011 (Ministerio de empleo y Seguridad Social, 2012-2), sigue siendo el sector en España que presenta el mayor Índice de Incidencia de accidentes laborales.

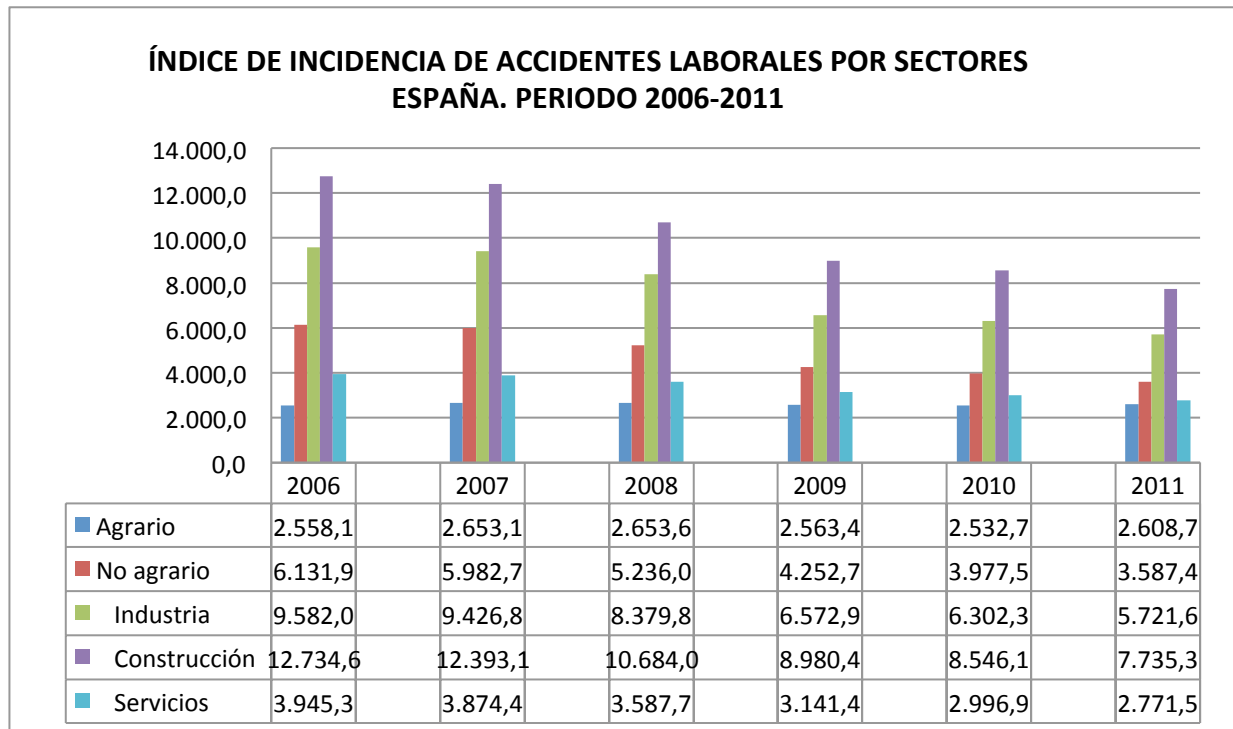


Figura 4. Índice de incidencia de accidentes en jornada de trabajo, con baja, por sector y división de actividad (por 100.000 trabajadores) en España. Periodo 2006 a 2011.

Fuente: (Ministerio de Empleo y Seguridad Social-2, 2012).

La metodología de las Estadísticas Europeas de Accidentes Laborales (ESAW) (Eurostat, 2008) considera dos tipos principales de indicadores sobre accidentes de trabajo: el número de accidentes y las tasas de incidencia. La tasa de incidencia (I.R. = número de accidentes - 100.000/número de trabajadores en la población objetivo) es más útil que el número total de accidentes, ya que permite la comparación del número de accidentes de trabajo en relación con el número de trabajadores en el sector (frecuencia). Sin embargo, la comparación de las estadísticas relativas a diferentes países de la UE puede ser problemática, de hecho, Eurostat (Eurostat, 2008) admite que hay dificultades considerables en la obtención de cifras comparables de los Estados miembros debido a las grandes diferencias en los sistemas de reporte de accidente, compensación económica y atención médica por accidentes de trabajo.

Los estudios llevados a cabo acerca de las tasas de accidentes de trabajo en países de la UE, desde el año cuando las disposiciones de EU entraron en vigor hasta el 2005, han evolucionado de diferentes maneras y reflejan una gran variedad de

tendencias en todo el ámbito europeo (ver fig.2), agrupando a los países miembros en tres grupos (Martínez Aires, 2009; Martínez Aires *et al.*, 2010):

- Países, como Dinamarca, el Reino Unido, Holanda, Irlanda y Suecia, con una tasa de accidentes de trabajo inferior a 4000 y con una evolución estable durante todo el período de tiempo. Todos estos países adoptaron las disposiciones de la Directiva 92/57/CEE en 1996 o antes. El caso de Irlanda es particularmente sorprendente porque la tasa inicial de accidentes aumentó de 1337 en 1995, alcanzando un total de 2876 en 2004, antes de disminuir ligeramente en 2005.
- El grupo más numeroso de países son aquellos que tienen una tasa de accidentes de entre 4000 y 10.000. Este grupo incluye a Grecia, Finlandia e Italia, y es más heterogéneo que el primero de ellos en lo referido a la tasa real de accidentes y su evolución. Todos estos países muestran una importante disminución en sus tasas de accidentes durante el período estudiado. Una excepción es Luxemburgo, cuya tasa de accidentes aumentó de 8667 en 1996 a 10.106 en 2004 mostrando un descenso importante en 2005.
- El tercer grupo consiste de aquellos países cuya tasa de accidente fue superior a 10.000 al menos algunos de los años durante el período de tiempo estudiado. España, Francia, Portugal, Alemania, Austria y Bélgica pertenecen a este grupo. A excepción de Francia y Portugal, todos estos países implementaron la Directiva 92/57/CEE más tarde que en los otros grupos.

Luego, las estadísticas demuestran que España es el país que tiene la mayor tasa de incidencia de accidentes de trabajo durante este período. No fue hasta 2003 que la tasa de accidentes cayó por debajo de los 14.000. Las tasas de accidentes en Alemania, Austria, Bélgica y Grecia se han vuelto claramente inferiores tras la adopción de las disposiciones de la Directiva 92/57/CEE. La tasa de accidentes en los Países Bajos, Dinamarca y el Reino Unido permanecen constantes y no parecen haber sido influenciados fuertemente por la Directiva. En contraste, Portugal y Francia tuvieron un mayor número de accidentes en determinados años durante este período, aunque en términos generales, se redujo la tasa de accidentes. Francia no muestra ninguna reducción hasta 1998. Entre 1995 y 2000, accidentes bajaron en Portugal, pero después de 2000 no ha habido ninguna mejora.

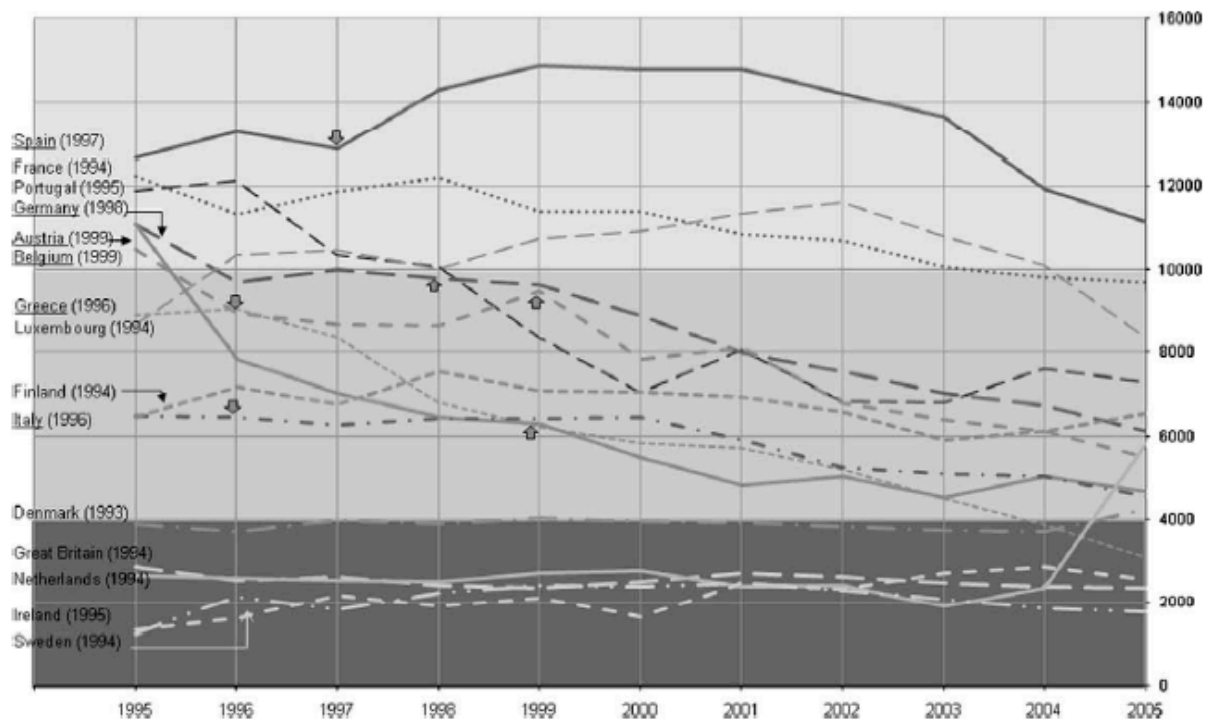


Figura 5. Variación del Índice de Incidencia estandarizado de los accidentes laborales entre 1995 y 2005, según la actividad económica, severidad y edad (índice por 100.000 trabajadores). Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más).

Fuente: (Martínez Aires, 2009).

Por otro lado, si se analiza el valor de la tasa de incidencia de accidentes de trabajo en el año en que la Directiva de la UE entró en vigor para cada país y la tasa de incidencia en 2005, se obtienen los siguientes resultados (ver tabla 2): 11 de los 15 países considerados experimentaron un descenso en su tasa de accidente desde que la Directiva de la UE fue implementada a nivel nacional, con un promedio de mejora del 28%, lo que va desde el 66% al 3,4%. Grecia y Bélgica muestran los mejores resultados con una tasa de incidencia decreciente del 65,7% y 42% respectivamente. Las cifras de Finlandia están dentro de 1,5% y Dinamarca, Irlanda y Suecia son los países que tienen las tasas más altas de accidentes en 2005 que fue el año en que su legislación nacional en vigor.

	Date of national legislation for 92/57/EEC	Accident rate when law enacted	Accident rate in 2005	% Change in accident rate
Austria	1999	6311	4671	-26.0
Belgium	1999	9508	5510	-42.0
Denmark	1994	3904 (refers to 1995)	4264	+9.2
Finland	1994	6454 (refers to 1995)	6549	+1.5
France	1994	12248	9712	-20.7
Germany	1998	9810	6136	-37.5
United Kingdom	1995	2885	2382	-17.4
Greece	1996	9061	3112	-65.7
Ireland	1995	1337	2560	+91.5
Italy	1996	6459	4557	-29.4
Luxembourg	1994	8667 (refers to 1995)	8373	-3.4
Netherlands	1994	2650 (refers to 1995)	2346*	-11.5
Portugal	1995	11892	7311	-38.5
Spain	1997	12870	11166	-13.2
Sweden	1995	1237	1751	41.6%

* For year 2005 was taken in 2004's data. The data of 2005 is 5836 and has been labelled by Eurostat as "Break in series".

Tabla 2. Índice de incidencia de accidentes laborales (por 100.000 trabajadores) en el año en que la Directiva 92/57/CEE fue implementada en cada país. Construcción (NACE F). Pérdida de más de tres días de trabajo (ausencia de cuatro días o más).

Fuente: (Martínez Aires, 2009).

Los resultados obtenidos de la investigación (Martínez Aires, 2009) acerca de la evolución de la Índice de Incidencia de los accidentes de la construcción en la Unión Europea, a la que se viene haciendo referencia en este apartado, demuestran que desde que la legislación entrara en vigor mediante las transposiciones de la Directiva 92/57/CEE, ha disminuido la tasa de accidentes en el trabajo en los países europeos. Es decir, 10 países experimentaron más del 10% de reducción en el índice de accidentes sucedidos en el lugar de trabajo, otros 3 variaron menos del 10% y sólo 2 obtuvieron peores índices, aunque respecto a estos datos existieron ciertas anomalías.

Sin embargo, no hay pruebas del éxito específico de la Directiva para obras de Construcción en sí misma en términos de tasas de incidencia nacional, porque también han contribuido a ello otros factores que se han dado simultáneamente como lo son el cambio en "los usos y costumbres", la variación de la productividad y otros eventos importantes. Por último, se pretende resaltar que, dado que la Directiva promueve integrar en el proceso constructivo la Prevención mediante el Diseño (PtD), en vista a los resultados obtenidos procedentes de la investigación a la que se ha hecho referencia en este apartado, Dr. M^a D. Martínez Aires afirma:

"Se ha podido comprobar la relación directa entre la Prevención a través del Diseño y la siniestralidad, así como determinar las herramientas y barreras existentes para su aplicación".

Así lo corrobora el estudio comparativo entre España y el Reino Unido realizado por Cuatrecasas (2008), hacer una reforma completa e íntegra frente a incumplimientos de la normativa sobre Seguridad y Salud laboral con el objeto de satisfacer las dos funciones inmediatas que debe cumplir todo sistema de responsabilidades: la punitiva y resarcitoria así como la función final del mismo, la preventiva.

3.3. CULTURA PREVENTIVA

Muchos significados han sido atribuidos al término de *cultura preventiva*, dando paso a numerosas definiciones (CBI, 1990; Cooper, 2000; Cox & Cox, 1991; HSC, 1993; IAEA, 1986; Pidgeon, 1991; Wallace & Neal, 2000; Wiegmann, Zhang, Von Thaden, Sharma, & Mitchell, 2002). No obstante, la mayoría son generales e implícitas (Guldenmund, 2000), y no existe una definición aceptada de forma unánime. En consecuencia, (Fernández Muñiz *et al.*, 2005) proponen como definición para una positiva cultura preventiva la siguiente:

"Un conjunto de valores, percepciones, actitudes y patrones de conducta con respecto a la seguridad compartida por los miembros de la organización; además de un conjunto de políticas, prácticas y procedimientos relacionados con la reducción de la exposición de los trabajadores a riesgos laborales, implementado en cada nivel de la organización, y reflejando un alto nivel de preocupación y compromiso en la prevención de accidentes y enfermedades".

Dado el significado que representa adoptar una *cultura preventiva* en el sector laboral, se cree necesario resaltar el marco legislativo legal, concerniente a la Prevención de Riesgos Laborales, que en España es la LPRL 31/1995.

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, 1995), resultado de la transposición de la Directiva 89/391/CEE (Directiva 89/391/CEE, 1989), es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades precisas para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha Ley serán las normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, a través de normas mínimas que garanticen la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran necesariamente las destinadas a garantizar la salud y la seguridad en las obras de construcción (RD 1627/97).

Igualmente, España ha ratificado diversos Convenios de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) que guardan relación con esta materia y que forman parte de nuestro ordenamiento jurídico interno. En concreto, con carácter general, el Convenio número 155 de la OIT, relativo a la seguridad y salud de los trabajadores, de 22 de junio de 1981, ratificado por nuestro país el 26 de julio de 1985, y en particular, el Convenio número 62 de la OIT, de 23 de junio de 1937, relativo a las prescripciones de seguridad en la industria de la edificación, ratificado por España el 12 de junio de 1958 (exposición de motivos de LPRL 31/95 y RD1627/97).

Es fundamental la existencia de una *cultura preventiva*, pues es un elemento esencial en la organización de la obra para prevenir accidentes laborales (Fernández-Muñiz *et al.*, 2007).

Luego, se cree oportuno que el concepto de cultura preventiva se instaure en los centros educativos. En este sentido y para que sea "eficaz", la educación en prevención de riesgos se debe realizar en un doble camino: concienciar al alumnado

de la importancia de la prevención de riesgos para cuando accedan al mundo laboral e inculcar al profesorado la importancia de generar comportamientos y actitudes preventivas (Heinz & Beat, 2003). Por lo tanto, el desarrollo de la cultura de la prevención exige un refuerzo de colaboración entre las autoridades laborales y las educativas que debe incluir, como un primer eslabón, la formación del profesorado (Burgos García, 2010).

Una cuestión importante a destacar es que puede enfocarse la Prevención mediante el Diseño (PtD) junto con la Prefabricación para favorecer una buena cultura preventiva. En la celebración del Congreso Internacional para la Investigación e Innovación en la Edificación y Construcción CIB 99 en 2011, S. Wuamuziri expuso en su publicación *"Factors that Contribute to Positive and Negative Health and Safety Cultures in Construction"* que la **Prefabricación** es una herramienta que puede crear una cultura preventiva positiva en las obras de construcción, pues favorece que el lugar de trabajo sea un entorno seguro (Wuamuziri, 2011).

En resumen, la reducción de accidentes de trabajo es una prioridad social inmediata y, en consecuencia, la gestión de riesgos y prevención de accidentes son temas cruciales para la industria de la construcción en Europa (Martínez Aires *et al.*, 2010).

3.4. LEGISLACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA

3.4.1. DIRECTIVA 92/57/CEE

Dado el creciente número de accidentes laborales en la Unión Europea, el Consejo de Unión Europea desarrolla una directiva específica para la Seguridad y Salud Laboral, la Directiva Marco 89/391/CEE (Directiva 89/391/CEE, 1989), la cual introduce disposiciones y directrices para la Seguridad y la Salud de los trabajadores y especifica los deberes, responsabilidades y obligaciones de los trabajadores y los empresarios. Dichas disposiciones básicas se hallan más desarrolladas en otras diecinueve directivas, componiendo así, un cuerpo amplio y detallado de la legislación.

Así, de estas diecinueve directivas, la octava es la Directiva 92/57/CEE, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles, cuya exposición de motivos hace referencia a su redacción:

*"Considerando que más de la mitad de los accidentes de trabajo en las obras de construcción en la Comunidad está relacionada con **decisiones arquitectónicas** y/o de organización inadecuadas o con una **mala planificación de las obras en su fase de proyecto**".*

*"Considerando, por ello, que resulta necesario reforzar la coordinación entre las distintas partes que intervienen ya **desde la fase de proyecto**, pero igualmente durante la ejecución de la obra".*

Según el Consejo de las comunidades europeas, esta directiva fue justificada por el hecho de que las obras de construcción temporal o móvil pertenecen a un sector de

actividad de alto riesgo especialmente para los trabajadores. Por lo que establece las responsabilidades y obligaciones de los empresarios (evaluación de riesgos, creación de servicios de protección y prevención, etc.) y los deberes de los trabajadores (llevar a cabo instrucciones, uso correcto de equipos y maquinaria).

De este modo, el contenido de la Directiva se centra en la aplicación de los requisitos mínimos de seguridad y salud en obras de construcción temporales o móviles, con el objetivo de estimular y mejorar la protección de los trabajadores a través de medidas relativas a la prevención de riesgos laborales, a la protección de la seguridad y la salud, a la **eliminación de factores de riesgo** y accidentes y también la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores. Por tanto, el objetivo de la Directiva se centra en mejorar las condiciones de trabajo en el sector de la construcción, mediante la integración de la Seguridad y la Salud en el trabajo en las fases de diseño y de Organización del Proyecto y de la Obra.

3.4.2. TRANSPOSICIÓN DE LA DIRECTIVA 92/57/CEE EN ESPAÑA: RD 1627/97

En España, la transposición de la Directiva 92/57/CEE se materializa en año 1997 mediante el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

El Real Decreto 1627/97 presenta las siguientes particularidades:

*"En primer lugar, el Real Decreto tiene presente que en las obras de construcción intervienen sujetos no habituales en otros ámbitos que han sido regulados con anterioridad. Así, la norma se ocupa de las **obligaciones del promotor, del proyectista, del contratista y del subcontratista** (sujetos estos dos últimos que son los empresarios en las obras de construcción) y de **los trabajadores autónomos**, muy habituales en las obras. Además, y como consecuencia de lo dispuesto en la Directiva que se transpone, **se introducen las figuras del coordinador en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra y del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra**".*

*"En segundo lugar, el Real Decreto tiene en cuenta aquellos aspectos que se han revelado de utilidad para la seguridad en las obras y que están presentes en el Real Decreto 555/1986, de 21 de febrero, por el que estableció la **obligatoriedad de inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en los proyectos de edificación y obras públicas**, modificado por el Real Decreto 84/1990, de 19 de enero, norma aquella que en cierta manera inspiró el contenido de la Directiva 92/57/CEE. A diferencia de la normativa anterior, el presente Real Decreto, incluye en su ámbito de aplicación a cualquier obra, pública o privada, en la que se realicen trabajos de construcción o ingeniería civil".*

"Por último, el Real Decreto establece mecanismos específicos para la aplicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y del Real Decreto 39/1997, de 17 de

*enero, por el que **se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención**, en un sector de actividad tan peculiar como es el relativo **a las obras de construcción**".*

El impacto de las transposiciones de la Directiva de la UE en cada Estado miembro ha sido extremadamente variada (Martínez Aires, 2009). La Directiva obligó a todos los países a designar un Coordinador de Seguridad y Salud para todas las fases de la obra de construcción. Esto en sí fue muy positivo para la prevención de riesgos, pero el problema fue que cada país interpretó y adaptó esta figura a su contexto nacional de diferentes maneras.

Sin embargo, según la normativa española RD 1627/97, la figura del coordinador de Seguridad y Salud la conforman otras dos, es decir, se establecen dos coordinadores: uno en la fase de proyecto y otro, en la fase de ejecución. Además define dos documentos, el Estudio o Estudio Básico de Seguridad y Salud y el Plan.

Esta diferenciación entre las fases de un proyecto, hecho que la transposición de la Directiva 92/57/CEE no haya permitido integrar con garantías la Prevención en la fase de redacción del Proyecto (Esteban, 2011).

4. LA PREVENCIÓN A TRAVÉS DEL DISEÑO (PtD)

4.1. ESTADO DEL ARTE

4.1.1. ¿QUÉ ES LA PREVENCIÓN MEDIANTE EL DISEÑO (PTD)?

La Prevención a través del Diseño (PtD) o *Designing for Construction Safety* (DfCS) como se conoce en EE.UU., implica considerar la seguridad de los trabajadores de la construcción en el diseño de un proyecto. El diseño define la configuración y componentes de una instalación y, por tanto, influye en gran medida en cómo se construirá un proyecto y en los consecuentes riesgos para la seguridad (Gambatese, 2000).



Figura 6. Logo for the U.S. NIOSH PtD initiative.
Fuente: (NIOSH, 2012).

Según Fred A. Manuele (Manuele, 2008), la Prevención a través del Diseño (PtD) se define como:

“La Prevención mediante el Diseño es la integración del análisis de los riesgos y los métodos de valoración de los riesgos en las fases iniciales de diseño y de ingeniería, así como emprender las acciones necesarias para que dichos riesgos de lesiones o daños se encuentren a niveles aceptables”.

Y presenta en una lista, en orden decreciente de prioridad y eficacia, una serie de enfoques a tener en cuenta en relación a la actuación para la PtD (Manuele, 1997):

1. Diseño para eliminar o evitar el riesgo.
2. Diseño para reducir el riesgo.
3. Diseño para incorporar dispositivos de Seguridad en un hecho concreto.
4. Diseño para proporcionar dispositivos de advertencia.
5. Formación en Seguridad a través del Diseño en centros especializados.

El Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional (NIOSH, 2012) afirma que la Prevención mediante el Diseño (PtD) es una de las mejores herramientas de prevención y control de los accidentes, lesiones, enfermedades y muertes en el lugar de trabajo.

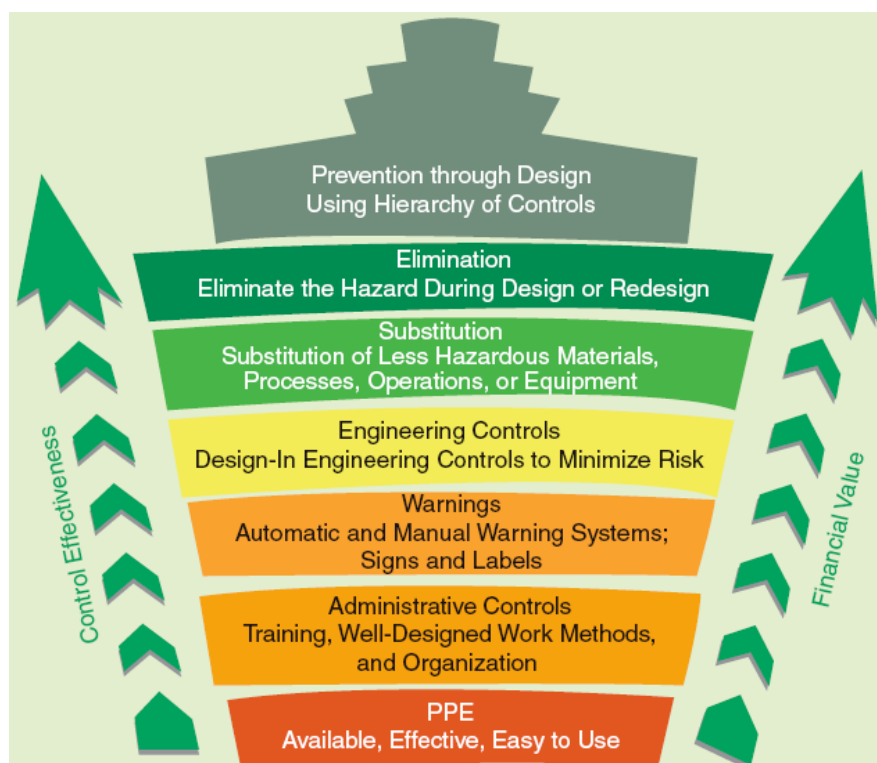


Figura 7. Jerarquía de medidas de control de riesgos.

Fuente: (Landis Floyd, II, H., 2010).

La jerarquía de controles de seguridad (ver fig. 7) ilustra cómo los controles de riesgos son más efectivos en las primeras etapas de diseño de un proyecto de construcción que en las posteriores, siendo potencialmente más eficaces en cuanto a la protección y más rentables en orden descendiente (Floyd & Liggett, 2008; Landis Floyd, 2010; NIOSH, 2012).

Por tanto, la PtD comienza con la identificación de los posibles riesgos. Entonces, dependiendo del tipo de obra, se aplican las medidas arquitectónicas o de ingeniería correspondientes con la intención de eliminar o reducir estos riesgos en la fase de ejecución del proyecto. El orden de las medidas adoptadas en la fase de diseño se establece en base a la eliminación de los riesgos a través de la adaptación y la evolución de los diseños de ingeniería. En caso de que los riesgos no pudieran eliminarse modificando el diseño del proyecto, se deben incorporar otras medidas de seguridad. Si estas medidas tampoco fueran suficientes, entonces sólo quedaría la posibilidad de proporcionar las advertencias, instrucciones, así como una formación y entrenamiento más específicos a los trabajadores (Martínez Aires, 2009; Martínez Aires *et al.*, 2010).

En 2007, la *National Occupational Research Agenda* (NORA, 2012), en un encuentro celebrado en Washington, propuso una estrategia nacional de Prevención a través del Diseño, en todos los sectores industriales, desde la Agricultura hasta los servicios de Asistencia Social (ver figura 8).

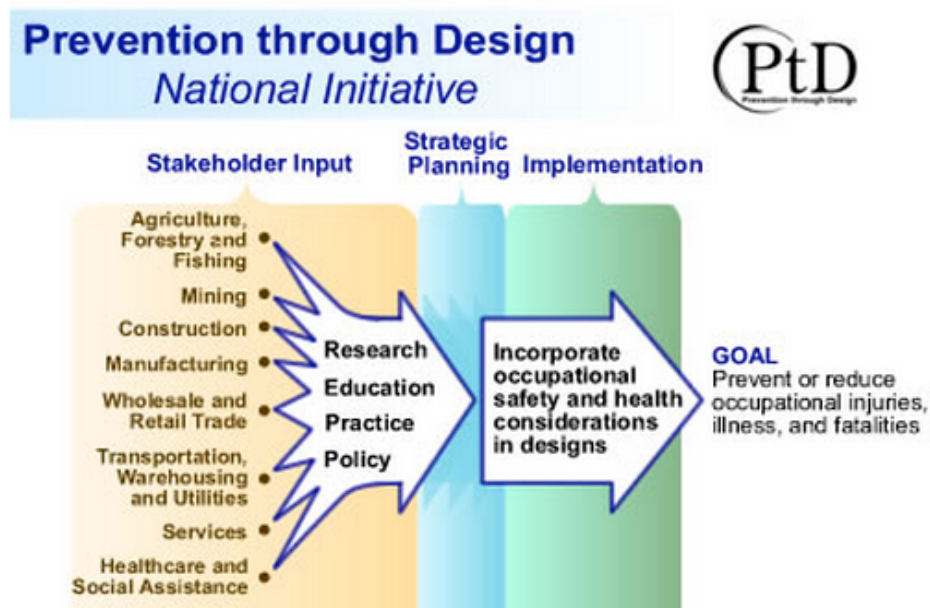


Figura 8. Estrategia nacional de Prevención a través del diseño.
Fuente: (NORA, 2012).

Según Szymberski (Szymberski, 1997), la medida más adecuada para la prevención de accidentes consiste en considerar la Seguridad y Salud durante las fases preliminares de Diseño. De esta manera, cuanto antes se incorpore en el calendario, la influencia que tendrá sobre el Proyecto final será mayor. Por lo que, es un concepto que se enfrenta a la planificación de la Seguridad y Salud justo antes de dar comienzo las actuaciones de ejecución de la obra, ya que entonces la capacidad de influir en materia de Seguridad queda muy limitada. (Ver fig. 9).

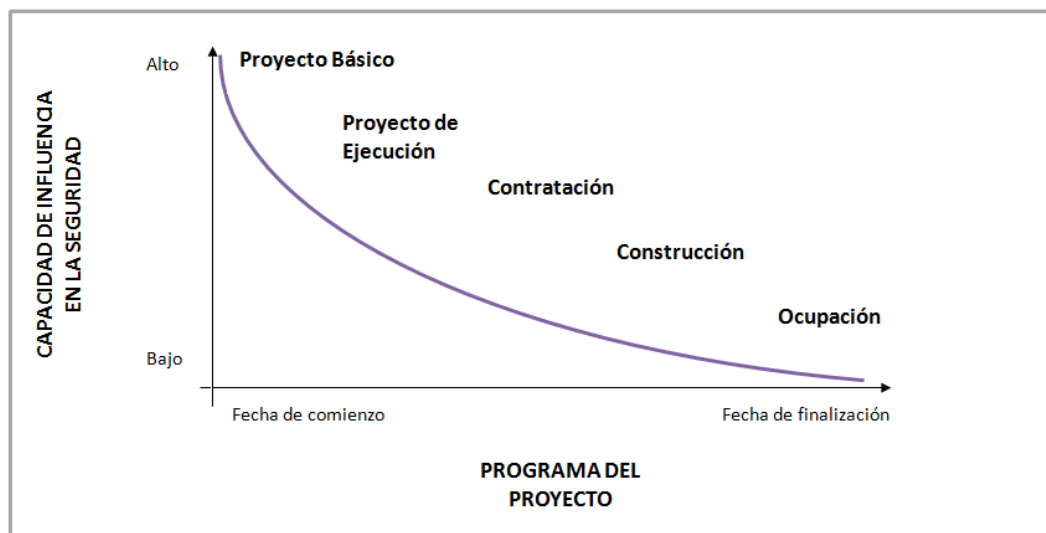


Figura 9. Curva de influencia tiempo/seguridad.
Fuente: (Szymberski, 1997).

En resumen, la Prevención mediante el Diseño implica (Design for Construction Safety, 2012):

- Tener explícitamente en cuenta la seguridad de los trabajadores de la construcción en el diseño de un proyecto.
- Ser conscientes y valorar la seguridad de los trabajadores de la construcción cuando se realizan tareas de diseño.

Finalmente, cabe destacar que, debido al concepto positivo que representa la iniciativa de la PtD para la seguridad, ciertos países han adoptado normativas para su adopción(Arévalo Sarrate, 2012).:

- En **Estados Unidos**, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud ocupacional (NIOSH) junto con La Asociación de Seguridad de Ingenieros (ASSE), han desarrollado un estándar específico '*American National Standard: Prevention Through Design: Guidelines for Addressing Occupational Hazards and Risks in Design and Redesign Processes*, ASSE, ANSI/ASSE Z590.3-2011', vigente desde 2012 para implementar técnicas de Prevención a través del Diseño (PtD)
- En **Reino Unido**, se desarrolló la normativa (Construction Design & Management) CDM Regulations 1994, derogada posteriormente por CDM Regulations 2007, y fruto de la transposición de la Directiva 92/57/CEE. Esta norma tiene por objeto la aplicación de la PtD en la Construcción, dictando la necesaria identificación de los riesgos y, así, tomar las medidas necesarias en el orden que sigue: eliminarlos, controlarlos o advertir sobre estos si las dos primeras acciones no pudieran llevarse a cabo. Además, dedica el artículo 11 a la definición de las obligaciones del proyectista en cuanto a prevención.
- En **Australia** se desarrolló la Estrategia Nacional de Australia SST 2002-2012 (2012), que establece "la eliminación de los riesgos en la etapa de diseño" como una de las cinco prioridades nacionales. Como resultado, el Consejo de Seguridad y Compensación Australiano (ASCC) desarrolló la Estrategia Nacional de Diseño y Planes de Acción que abarcan una amplia gama de áreas de diseño, como edificios y estructuras, entornos de trabajo, materiales, y la planta (maquinaria y equipo).

Existen plataformas web enfocadas a la difusión de la PtD, destacando:

- Las inglesas: la Web oficial Design Best Practice (Disponible en:<<http://dbp.org.uk/>>) y la Web oficial de Safety in Design (Disponible en:<<http://www.safetyindesign.org/>>).
- La americana: la Web oficial Design for Construction Safety (Disponible en:<<http://www.designforconstructionsafety.org/>>).
- La desarrollada por el Gobierno Australiano: la Web oficial de La oficina de la Comisión Federal de Seguridad (Disponible en : <<http://www.fsc.gov.au/sites/FSC/Pages/default.aspx>>).

4.1.2. ORIGEN Y CAUSAS DE LOS ACCIDENTES DE CONSTRUCCIÓN. IMPACTO DE LA PtD.

La mayoría de los accidentes ocurridos en la Construcción son el resultado de causas básicas y elementales, tales como la falta de un entrenamiento adecuado, el deficiente reforzamiento de la seguridad, el uso de equipos no seguros, la implementación de métodos o secuencias no seguras, las condiciones de trabajo no seguras, el no utilizar el equipo de protección individual ofrecido y la actitud indiferente ante la Seguridad y Salud (Toole, 2002). Entre estas causas destaca la responsabilidad del contratista principal a la hora de monitorizar, coordinar y dirigir el trabajo de las empresas subcontratadas, ya que es el contratista principal de quien depende la seguridad en la obra de construcción. Pero se debería considerar que la Prevención de la Seguridad y Salud no es sólo una responsabilidad que debe recaer únicamente sobre las empresas constructoras.

En los estudios '*Causal factors in construction accidents*' (HSE⁶, 2003) y '*Contributing factors in construction accidents. Applied Ergonomics*' (Haslam et al., 2005) se muestra cómo influyen diferentes causas a la hora de que se produzca un accidente en una obra de construcción (ver fig. 10). De esta forma, a partir del gráfico siguiente se valen para explicar esta multicausalidad de los accidentes de construcción.

El diagrama indica que los accidentes surgen por fallos entre la interacción entre los siguientes factores: los trabajadores, el lugar de trabajo, los materiales y equipos que los primeros utilizan (incluidos los medios auxiliares y los equipos de protección individual). Estos factores influyen desde el origen de cualquier accidente en el sector de la Construcción y son independientes del Proyecto. Así, las exigencias del cliente, las limitaciones económicas y la formación de los agentes que intervienen en la Construcción influyen sobre los cuatro factores anteriores al condicionar directamente las actitudes, las motivaciones, las habilidades y la formación de los trabajadores; en las limitaciones del lugar de trabajo, y su limpieza, y de los horarios de trabajo; en el diseño de los materiales que se emplearán, las especificaciones de uso y su disponibilidad en el lugar de trabajo. Todo lo anterior enmarca las circunstancias inmediatas del accidente, de forma que las acciones, el comportamiento, las capacidades y la comunicación del equipo de trabajo, unidas a las condiciones del lugar, la limpieza, los ruidos, el calor o el frío, así como los vientos y los riesgos d azar existentes en él y a la idoneidad, o no, la disponibilidad de los materiales y equipos de trabajo, convergen hacia el accidente de forma muy rápida y directa. (Ver fig. 10).

⁶ Ejecutivo de seguridad y salud de Reino Unido.

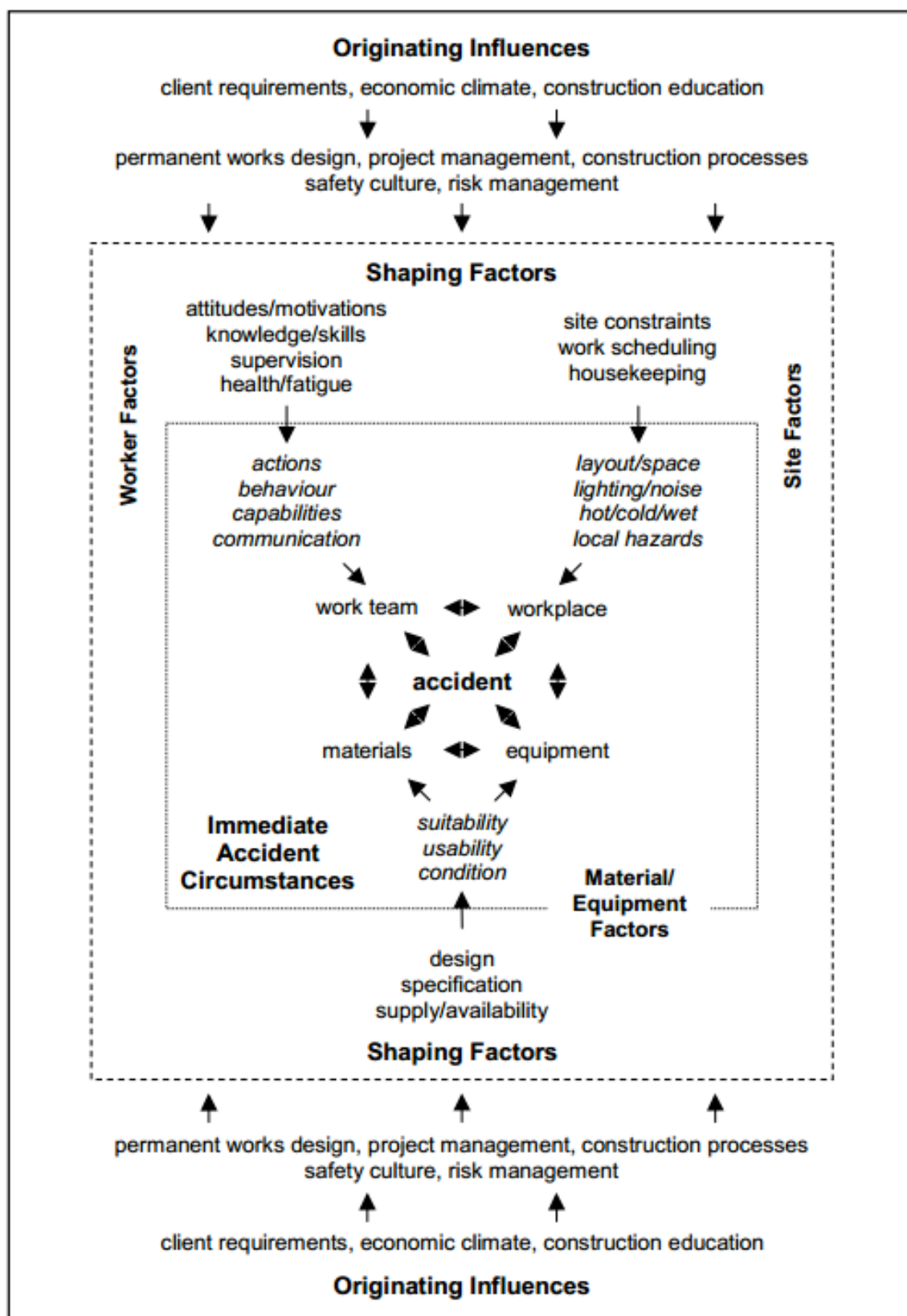


Figura 10. Jerarquía de las influencias en accidentes en el sector de la construcción.

Fuente: (HSE, 2003).

En la Universidad de Loughborough, el equipo de investigación en prevención de accidentes (Loughborough's APaChE team: A Partnership for Construction Health and Safety) dirigido por A. Gibb (Gibb et al., 2004) describe el fenómeno de la causalidad de los accidentes adaptando la teoría de James Reason (Reason, 1991) (ver fig. 11).

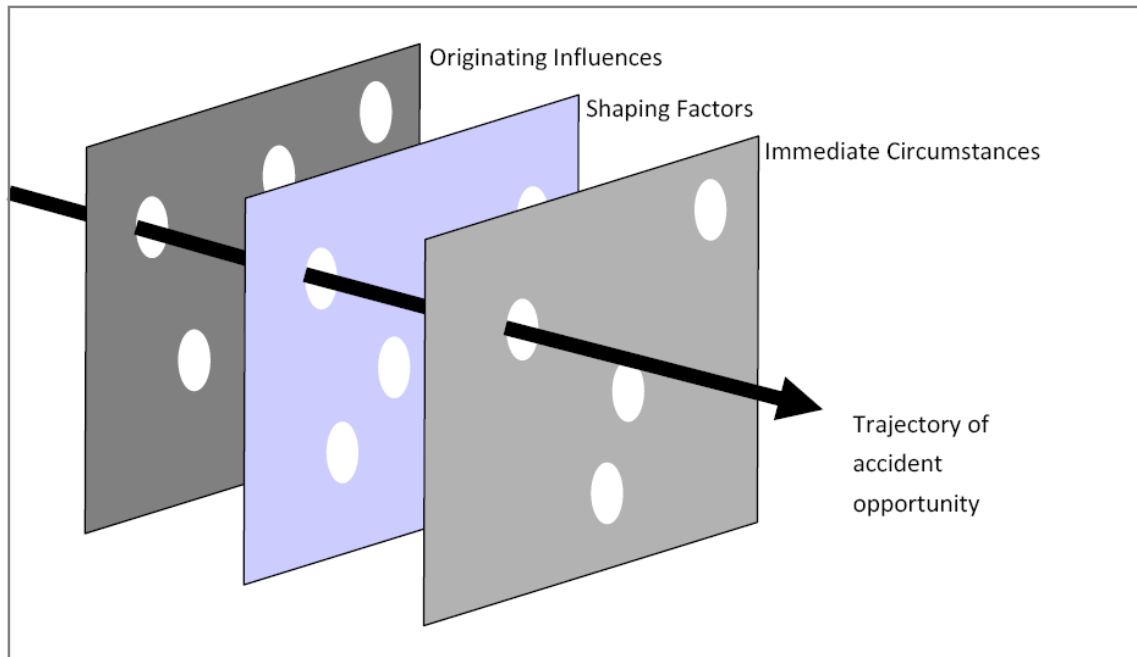


Figura 11. Modelo de Causalidad de los Accidentes en Construcción de la Universidad de Loughborough utilizando el modelo de las placas de Reason.

Fuente: (Gibb, 2004).

Así, La primera capa, o placa, representa las INFLUENCIAS DE ORIGEN (es decir, factores como la sociedad, la educación, la industria, la organización corporativa, los organismos oficiales -HSE, INSHT, etc.-); la segunda, los considerados FACTORES DE FORMA (es decir, el Proyecto, la gestión y organización, la contratación) y las CIRCUNSTANCIAS INMEDIATAS (es decir, los trabajadores, el lugar de trabajo, los supervisores) (Brace *et al.*, 2009). Los agujeros en las placas representan los defectos o errores relativos a los temas abordados en esa placa. Ningún sistema puede ser perfecto y así cada una de las placas tendrá agujeros en él. El papel del azar en los accidentes es objeto de examen en la trayectoria de la oportunidad de accidente que se produce cuando se alinean los agujeros. Si alguna de estas "placas" es perfecta entonces se impide el accidente, pero esto es claramente ideal. ¿Qué se puede decir si cada grupo responsable de cada placa se concentró en la reducción de los agujeros (errores) en su placa? La respuesta es sencilla: el resultado final sería la reducción del número de accidentes. Uno de los objetivos de la larga cadena de personas que interviene en el proceso constructivo es eliminar los posibles huecos que permiten que un accidente se produzca).

A propósito de la multicausalidad de los accidentes explicada anteriormente, se han dirigido numerosos estudios acerca de este tema con ejemplos reales y a continuación, se exponen algunos destacables. También se hace referencia a otros estudios que relacionan la prevención con la reducción de lesiones y costos:

- Así, En 1991 la Fundación Europea para la mejora de las condiciones de vida y laborales (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 1991), tras la investigación de las causas de los accidentes de trabajo que entonces fueron analizados, concluyó que el 60% de los accidentes se podrían haber eliminado, reducido o evitado con más atención durante la fase de Diseño.
- En la Universidad de Loughboroug el equipo de investigación Gibb, Haslam, Hise, & Gyi (Gibb *et al.*, 2004) revisó 100 accidentes ocurridos en el sector de la Construcción, en los cuales se concluyó que en el 47% de los casos, la probabilidad de los accidentes se habría reducido si se hubieran realizado diversos cambios en el diseño de los proyectos.
- Destaca también la investigación llevada a cabo por Michael Behm (Behm, 2005), donde se estudiaron 226 incidentes con lesiones y 224 accidentes mortales, producidos en el periodo de tiempo entre los años 2000-2002 en Oregón, Washington y California. Como resultado se obtuvo que el Diseño estaba relacionado con el accidente en el 22% y 42% de los casos, respectivamente.
- En el estudio realizado por S. Hecker (Hecker *et al.*, 2001), con el que se buscan las razones de las lesiones músculo-esqueléticas de los trabajadores de la Construcción, se concluye que son las consecuencias del Diseño, la planificación, la programación y la falta de especificaciones en los materiales, quienes actúan como generadores de riesgos reales de este tipo de lesiones durante el proceso de construcción.

4.1.3. IMPORTANCIA DE LAS PARTES INTERVINIENTES EN EL PROYECTO CONSTRUCTIVO PARA LA ADOPCIÓN DE LA PtD

Como viene siendo hasta ahora, el papel de los diseñadores (tanto arquitectos como ingenieros) siempre ha sido el de diseñar edificios, inmuebles y estructuras mediante el cumplimiento de las prácticas de ingeniería aceptadas, de los códigos de construcción locales y conforme a los requerimientos de seguridad pública. Consecuentemente la Seguridad y Salud de los trabajadores queda a cargo de los contratistas. Pero respecto a este hecho, se debe considerar que, en realidad, los que pueden tener una mayor influencia sobre la Prevención de la Seguridad y Salud en la construcción son los diseñadores dado que son los que toman decisiones en la fase de diseño en cuanto a los procesos constructivos, los materiales empleados, los elementos estructurales, etc. Este hecho permitiría que los contratistas, trabajadores, y futuros usuarios no tuvieran que tomar decisiones en materia de Prevención de Riesgos Laborales, sino cumplir las directrices marcadas y eliminar accidentes.

El ámbito tradicional de trabajo del diseñador sólo incluye la concepción y redacción del Proyecto y la posterior confirmación de que la construcción se ha llevado a cabo de acuerdo con el diseño previsto. Esta práctica habitual hace que sea el constructor quien supervisa los medios y métodos de construcción en un Proyecto desde su experiencia en obras y supervisión de los trabajadores. Como resultado de ello, el constructor suele ser el encargado de la Seguridad y Salud de los trabajadores, mientras que el diseñador no tiene participación en este aspecto. Esta

responsabilidad se refleja, normalmente, en la redacción de los contratos que establecen que la Seguridad y Salud en el Trabajo es de exclusiva del constructor y no el diseñador (Toole & Gambatase, 2002).

En el estudio llevado a cabo por F. Wiegand & J. Hinze (Hinze & Wiegand, 1992) en el que se investigaba acerca de 23 estudios de arquitectura e ingeniería, quedó demostrado que la seguridad de los trabajadores no podía depender únicamente de la legislación, por lo que el rol del diseñador pasó a ser relevante en cuanto a la prevención de accidentes. Posteriormente, Gambatase, Hinze & Haas respaldaron esta afirmación (Gambatase *et al.*, 1997).

Un informe de la OSHA de 2004 (OSHA, 2004) recopiló ejemplos, extraídos del contexto general europeo, de iniciativas orientadas a mejorar los niveles de Seguridad y Salud. Éste informaba hasta qué punto era posible mejorar estos niveles mediante la adopción de medidas eficaces en las distintas fases de un proyecto: fase de preparación del proyecto, fase de ejecución y fase de post-construcción o mantenimiento. Concluía indicando que un buen nivel de Seguridad y de Salud en un Proyecto de construcción empieza por las decisiones que toma la propiedad que encarga la obra. En el momento de seleccionar a los contratistas y a otros prestadores de servicios es de vital importancia asegurarse de que puedan cumplir competentemente con la ejecución de la obra, incluyendo la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo. Ha de otorgarse un margen de tiempo suficiente al proceso de planificación. El diseñador, el coordinador para la Seguridad y la Salud y el contratista deben ser designados lo antes posible. De este modo será posible discutir el diseño del Proyecto y asegurarse de que el pliego de condiciones y el programa de trabajo para la ejecución del Proyecto presentan, en función de las circunstancias, el menor número de riesgos para la Seguridad y Salud de los trabajadores.

En la Tesis *"Análisis de la gestión de la prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción en Europa. La Prevención a través del diseño (PtD) en España y Reino Unido"* (Martínez Aires, 2009) realizada por la Dra. M^a Dolores Martínez Aires, profesora de la Universidad de Granada, se destaca la importancia de las partes intervinientes en el Proyecto en cuanto al éxito de la implementación de la Seguridad en el Diseño pues *"son eslabones de una misma cadena"*. Luego, se afirma que **"el concepto de PtD debe ser tenido en cuenta desde el promotor"**, así como *"se considera oportuno la incorporación del contratista y/o del constructor a la fase de Diseño del Proyecto, lo que aumentaría la PtD con la aportación de su experiencia y conocimiento de los trabajadores"*.

En realidad, la intervención del constructor en la fase de Diseño sería muy beneficiosa para la PtD. Este problema es difícil de resolver ya que supone un costo para el promotor y en obra de promoción pública el proceso de contratación dificulta esta posibilidad. Los equipos multidisciplinares en la fase de Diseño fomentan la PtD (Martínez Aires, 2009).

En ciertas investigaciones llevadas a cabo (Gambatase, 1998) se afirmó que los conocimientos relativos a la Prevención mediante el Diseño influyen significativamente sobre la Seguridad y Salud de los trabajadores. Así pues, más tarde se indicó (Gambatase, 2000) que estos conocimientos y herramientas de

Prevención pueden hacer que los diseñadores participen en la mitigación de los riesgos relacionados con la seguridad de las obras de construcción, aunque la realidad es que los diseñadores (arquitectos e ingenieros) aún no han abordado el diseño de los proyectos desde el enfoque de la prevención de accidentes.

Así mismo, reconociendo la importancia del diseño en la seguridad en la construcción, La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) afirma en su política acerca de la seguridad en la obra de construcción (Declaración Política Número 350) que los ingenieros deberían responsabilizarse en "el reconocimiento de que la seguridad y la constructibilidad son consideraciones importantes a la hora de llevar a cabo los planes y especificaciones de construcción" (Gambatese *et al.*, 2005).

La investigación realizada por Vasconcelos *et al.* (2011) también resalta el rol del diseñador de los proyectos, pues indican que, aunque la seguridad laboral es una responsabilidad de toda la sociedad, son los diseñadores son que poseen el conocimiento adecuado para promover la seguridad a través de sus diseños.

En la investigación "*Viability of Designing for Construction Worker Safety*" realizada por J. Gambatese, M. Behm & J. Hinze (Gambatese *et al.*, 2005), los resultados indicaron que la seguridad mediante e diseño es una intervención viable en el sector de la Construcción. Se demostró, a través de las entrevistas a arquitectos e ingenieros, que un gran porcentaje de diseñadores estaban interesados en y dispuestos a poner en práctica el concepto de PtD. El documento describe los cambios clave necesarios para la implementación del concepto en la práctica, lo cual incluye: un cambio de mentalidad hacia la integración de la seguridad en el diseño por parte del diseñador; promover la motivación para considerar la seguridad en fase de diseño; impartir una mayor educación en conocimientos de PtD al diseñador para que pueda incorporarlos en la fase de diseño; creación de herramientas y directrices que ayuden al diseñador a integrar la seguridad en el diseño; mitigar la exposición del diseñador a las responsabilidades.

Posteriormente, Gambatese, Toole & Giles (Gambatese *et al.*, 2008), muestran gráficamente el proceso típico de la seguridad y Salud para los trabajadores del sector de la construcción en el marco de la Prevención a través del diseño (PtD o DfCS) (Fig. 12). La característica clave del proceso es que se combina el conocimiento acerca de la Seguridad en el lugar de trabajo con las decisiones sobre su diseño. Así, durante diversas revisiones del Proyecto se garantiza que la Prevención de la Seguridad y Salud sea tenida en cuenta durante su proceso de diseño. Resultando, de este modo, un producto final en el que los planos definitivos y las memorias descriptivas de la ejecución de la obra, que no difiere en gran medida de los planos y memorias actuales. Luego, la diferencia consistiría en que el bosquejo y las especificaciones reflejarían un diseño más seguro de construir y mantener.

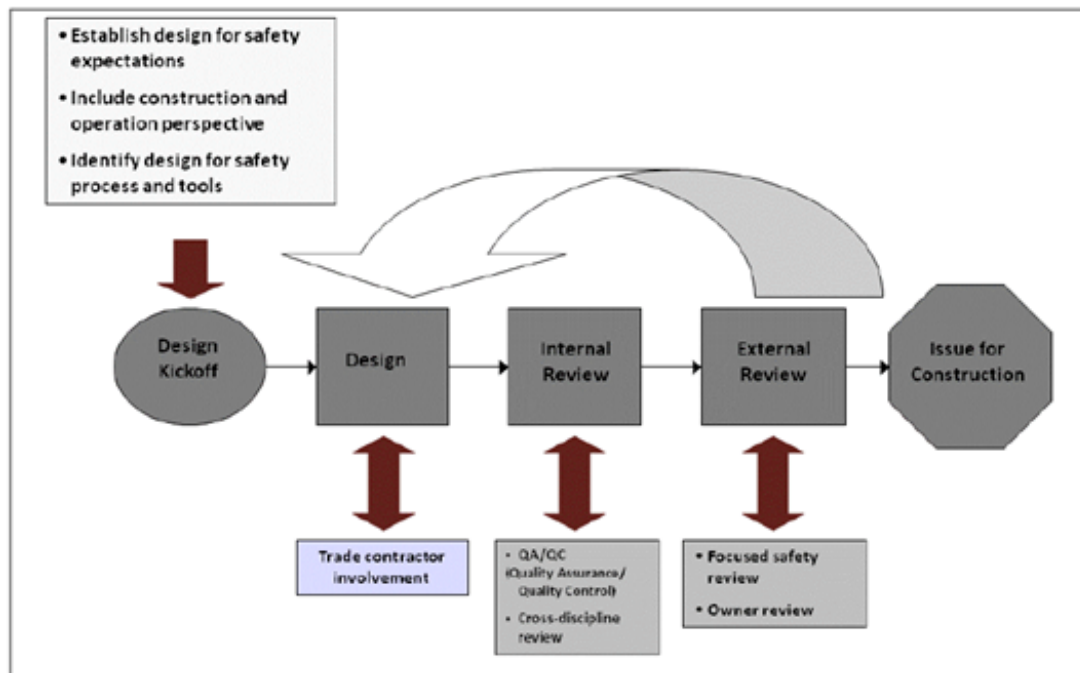


Figura 12. El proceso de Seguridad para los Trabajadores de la Construcción (DfCS).

Fuente:(Gambatese *et al.*, 2008).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la PtD se puede aplicar también al diseño de productos, equipamientos, maquinaria, instalaciones, edificaciones, y tareas de construcción. En este sentido, John W. Mroszczyk (Mroszczyk, 2006) estableció que el papel del diseñador y su aptitud es fundamental, al incorporar las características de diseño apropiadas que pudieran eliminar o reducir de manera significativa la necesidad de utilizar sistemas de protección contra caídas durante la construcción y el posterior mantenimiento de edificios.

Como se muestra a continuación (ver fig. 13), mediante una fase de proyecto y acumulación de conocimiento muy exhaustiva donde se intercambian ideas y conocimientos, se consigue un mejor proceso de implementación, más lineal, más rápido, con menos imprevistos y menos cambios. De este modo, se aumenta la fase de proyecto pero se reduce la de ejecución, lo que suele derivar en ahorro económico y en una mayor fiabilidad del proceso. Esto contrasta con la forma de trabajo en el que se empieza la obra, donde en condiciones normales, se van solventando problemas según aparecen y se incorpora a los especialistas durante el proceso. Lo cual suele conllevar los habituales parones de obra, correcciones del proyecto y modificaciones de presupuesto sobre la marcha (Montes *et al.*, 2011).

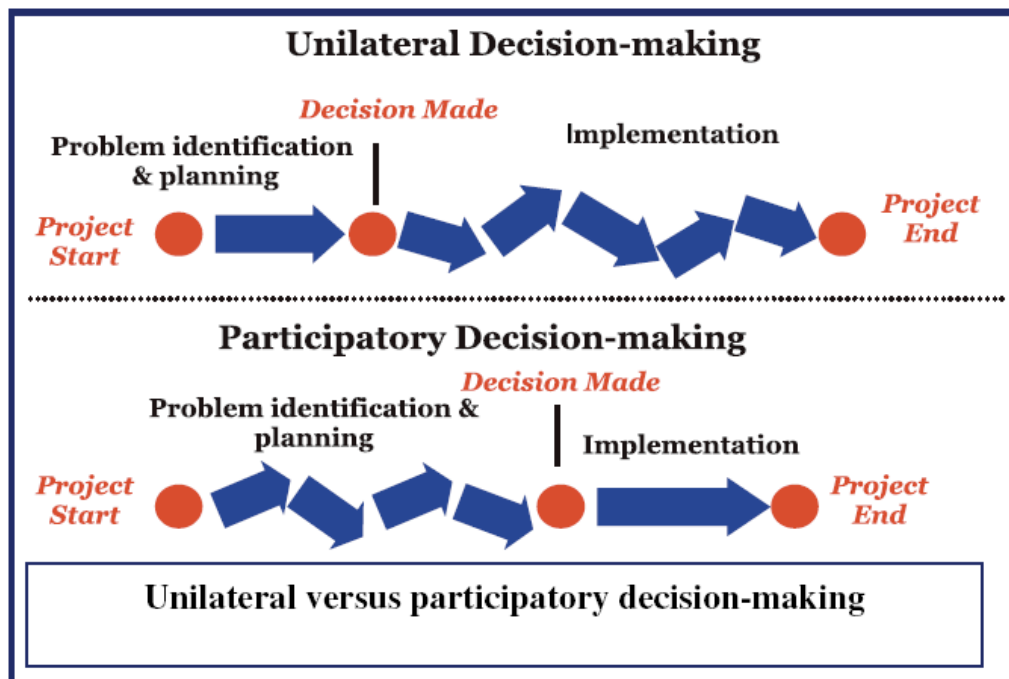


Figura 13. Toma de decisiones unilateral frente a la participativa.

Fuente: (Ridder *et al.*, 2005)

4.2. VENTAJAS Y BARRERAS FRENTE A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PtD

4.2.1. VENTAJAS

En el artículo '*The trajectories of Prevention through Design in Construction*' publicado por T. M. Toole & J. Gambatese (Toole & Gambatese, 2008), se exponen y explican como principales beneficios de la adopción de la Prevención a través del Diseño los tres siguientes:

- En primer lugar, las decisiones del proyecto en cuanto al costo, calidad y programación que tanto influyen en la seguridad del proyecto, son tomadas en la primera fase del proyecto y suelen ser tomadas por los diseñadores y promotores. En el campo de la Seguridad y Salud se sostiene que es mejor eliminar los peligros para la seguridad que proteger a los trabajadores. En resumen, tomar la iniciativa en la identificación y eliminación de los riesgos es más seguro y más económico que si se trata de una gestión como consecuencia de un peligro existente. Esta eliminación de los riesgos debe de hacerse por los diseñadores durante la concepción y el diseño detallado de una instalación.
- En segundo lugar, permite que individuos con una sólida formación educativa puedan tomar decisiones en el diseño considerando la seguridad respecto a numerosos peligros de las obras asociados a esfuerzos, estrés y tensiones, movimientos dinámicos, y electricidad.

- En tercer lugar, la PtD es convincente por razones tanto éticas como prácticas ya que, debido a la peligrosidad del sector de la construcción, la PtD hace que todas las partes que intervienen en el proceso constructivo (diseñadores, promotores y constructores), se involucren en la seguridad de los trabajadores y estén dispuestas a trabajar en la reducción de lesiones derivadas de los riesgos de la construcción, lo que además lleva a una reducción del costo.

Además, en el estudio 'Reducing the human cost in construction through design', Rwamamara & Holzmann (2007) establecieron que la Prevención mediante el Diseño (PtD) presentaba una gran oportunidad para reducir los costes de construcción y para proteger a los trabajadores.

En resumen, se puede decir que los principales beneficios que se obtienen de la implementación de la Prevención a través del Diseño son (Manuele, 2008):

- Mejora de la productividad de los procesos constructivos.
- Reducción de los costos de las operaciones en el proceso constructivo.
- Reducción significativa de los riesgos.
- Evitar continuas adaptaciones en el proyecto (o *retrofitting*), lo que encarecería el proceso.

4.2.2. OBSTÁCULOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN

Numerosos autores han citado en sus trabajos barreras en la implementación de la PtD (Hinze & Wiegand 1992; Gambatese 1998; Gambatese *et al.* 2003; Hecker *et al.* 2004a; Toole 2004):

1. Requerimientos de regulación débiles e inexistentes dirigidos a arquitectos e ingenieros para que los diseños de los proyectos consideren la seguridad de los trabajadores de la construcción.
2. La responsabilidad de la Seguridad y Salud recae sobre el constructor.
3. Preocupación de los arquitectos e ingenieros en cuanto a sus responsabilidades en la Seguridad y Salud.
4. Escasa especialización en la construcción y el diseño.
5. Disponibilidad limitada de herramientas de Prevención en el diseño, así como de directrices y procedimientos.
6. Limitada colaboración entre el diseñador y el constructor en las fases iniciales.
7. Limitada formación recibida por los arquitectos e ingenieros en cuestiones de Seguridad y Salud de los trabajadores y en cómo diseñar con seguridad.

Posteriormente, Michael Toole & Gabrielle Carpenter (Toole & Carpenter, 2011) integraron las barreras a la adopción de la PtD en tres principales:

- La primera barrera es la **carencia de conocimiento** en esta cuestión. Varios investigadores de PtD y facultativos han notado que casi todos los diseñadores tienen carencia de conocimientos sobre la seguridad en construcción y en diseñar las herramientas necesarias para poner en práctica la PtD. Si los profesionales del diseño son una contribución efectiva en la seguridad de los trabajadores, es esencial que posean al menos cierto grado de habilidad en la seguridad en la construcción. Desafortunadamente, no es el caso de la mayoría de los arquitectos e ingenieros. Un artículo publicado en 2003 en el *International Journal of Construction* (Gambatese, 2003) reportó que muy pocos programas de ingeniería incluían en su currículum la seguridad en la construcción. Sólo el 20% de las 75 empresas americanas de diseño de ingeniería encuestadas en 2002 por un estudiante de grado de la Universidad de Bucknell indicó que el 50% de sus empleados habían recibido entrenamiento en seguridad, mientras que casi el 70% indicaron que menos del 25% de sus trabajadores habían recibido entrenamiento en seguridad. El mismo estudio también encontró que menos de un cuarto de los participantes de US creían que los empleados de su empresa eran capaces de identificar los riesgos de la obra a los que sus trabajadores estaban expuestos (Toole & Marquis, 2004). Desafortunadamente, los académicos se han percatado de que en la mayoría de los planes de estudios de ingeniería ya están llenos debido a la necesidad de cumplir con los criterios de acreditación, lo que hace que un ciclo completo no sea factible (Toole, 2005).
- La segunda barrera es que PtD puede aumentar los **costos directos y los gastos generales para los diseñadores** (Toole, 2005). Los costes directos se incrementarán porque los diseñadores precisarán comunicarse con el personal perteneciente a este campo, comprobar bases de datos o utilizar listas de chequeo para identificar las oportunidades de la Ptd, las cuales son tareas que no se llevan a cabo en la actualidad. Los costes generales pueden incrementarse de dos formas. Primero, los diseñadores tendrán que recibir entrenamiento en seguridad como parte de su desarrollo profesional. Segundo, si los diseñadores comienzan a contribuir a la seguridad laboral, las compañías de seguros que proporcionan a los diseñadores la responsabilidad civil y seguro de errores y omisiones, pueden aumentar sus primas para cubrir los costos previstos asociados a la defensa contra demandas a los diseñadores. La solución a los aumentos de los honorarios de los diseñadores es educar a los propietarios y clientes de forma que reconozcan que los costos asociados con la PtD resultarán después como ahorros en el diseño total y en los costos de construcción. En otras palabras, los propietarios deberían estar dispuestos a pagar tasas de diseño un poco más altas para ahorrarse dinero a largo plazo, por ejemplo, deberían enfocar el coste en el ciclo de vida.
- Una tercera barrera es que el diseño en el **proceso tradicional diseño-licitación-construcción** no permite al constructor proporcionar al diseñador una aportación de seguridad desde el punto de vista constructivo durante el diseño. Dado que los diseñadores tienen falta de pericia en métodos de

seguridad, será importante disponer de personal de revisión de diseños de construcción que identifique las posibilidades de la ptd. Con la mayoría de los proyectos diseño-licitación-construcción, el constructor no se conoce hasta que la fase de diseño se ha completado. Las posibles soluciones son la contratación de personal de construcción con experiencia para revisar los documentos en progreso de diseño o utilizar un método de entrega de orden alternativo. El diseño de la edificación y la entrega integral del proyecto son mucho más propicios a permitir la comunicación sobre una segura construcción necesaria para que sea efectiva la PtD (Toole & Gambatese, 2008).

Aunque también añaden que quizás, el mayor desafío para la PtD sea la oposición de los profesionales del diseño partícipes de la construcción tradicional. Ya que miembros de muchas organizaciones profesionales del diseño han expresado cierta preocupación de que el desarrollo de la PtD incrementará las demandas a los diseñadores por parte de los trabajadores lesionados (Toole & Carpenter, 2011).

Así pues, dada la importancia que representa en la implementación de la PtD la limitada responsabilidad de arquitectos e ingenieros en cuestiones de Seguridad y Salud en la Construcción, ciertas publicaciones (Gambatese *et al.*, 1997; Gambatese, 1998; Toole & Gambatese, 2002) exponen los motivos acerca de esta acotada responsabilidad de las partes participantes en el proceso constructivo:

- Los diseñadores enfocan la seguridad al usuario final, debido a que los códigos de Diseño y normas se centran en la seguridad de los usuarios finales.
- Los códigos éticos de las asociaciones profesionales de Arquitectura e Ingeniería incorporan consideraciones de la Seguridad del público, en las que el término “público” es, a menudo, interpretado como “visitante” por lo que se excluye al trabajador de la Construcción.
- Los recursos existentes no se hayan fácilmente disponibles para avisar a los proyectistas acerca de los peligros asociados con sus diseños ni son los necesarios para ayudarles en la mejora de la PtD para la ejecución de los proyectos.
- También la falta de contenidos formativos relacionados con la PtD, con la Seguridad general en las obras de construcción y con la de la salud de los trabajadores.
- Además, desde el punto de vista legal, se asesora a los proyectistas a que limiten, de forma contractual y operativa, su participación en la seguridad, para así minimizar la exposición potencial de la responsabilidad a terceras partes demandas derivadas de las lesiones de los trabajadores de la Construcción.

Gangoells *et al.* (2010) identificaron las barreras significativas en la identificación de los riesgos: barreras en el conocimiento y en la información (por ejemplo, la falta de intercambio de información entre diferentes proyectos, la falta de recursos en

proyectos más pequeños, identificación de peligros y evaluación de riesgos subjetiva, y la confianza en el conocimiento tácito) y barreras en los procesos y procedimientos (por ejemplo, la falta de enfoques a la estandarización, estructuras no definidas para las tareas y riesgos).

Por otro lado, además de existir ciertos obstáculos en cuanto a la puesta en práctica de la Prevención mediante el Diseño, también existen determinadas barreras en el campo de la investigación en relación al citado concepto, por lo que John A. Gambatese (2008) expuso como barreras a la investigación de PtD las siguientes:

- El gran tamaño, la complejidad y la fragmentación de los sectores de la industria.
- Dificultades relacionadas con la realización de investigación sobre seguridad y salud.
- La falta de una metodología de investigación estandarizada de PTD.
- Dificultades en el análisis de riesgos de seguridad y salud y determinar el diseño como factor causal.
- La responsabilidad percibida relacionada con la PtD y un intento de limitar la responsabilidad.
- La falta de conocimiento de la PtD.
- Carencia de datos fidedignos para ser analizados,
- La imposibilidad de la obtención de datos debido a cuestiones de confidencialidad y competitividad.
- Prioridades que compiten con el diseño (coste, productividad, equidad).
- Una red incompleta de comunicación en la difusión de los conocimientos acerca de PtD.
- Carencia de conocimientos en gestión de la seguridad.
- Falta de educación y formación en PtD para los diseñadores.
- Dificultades para traducir la investigación en algo que la industria comprenda.
- Ausencia de concursos nacionales para investigar en PtD.

4.2.3. HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO PtD

La superación de las barreras existentes en la implementación de la PtD requiere que los investigadores, la industria y el gobierno colaboren en la planificación y dirección de la investigación. De este modo, es necesario que participen todas las partes implicadas. Además, deberían destinarse fondos y recursos suficientes que permitieran examinar en profundidad el concepto de PtD y su aplicación en la

práctica. Así, y de acuerdo con estos criterios, la evaluación del impacto de la PtD debe ir en consonancia con el desarrollo de los procesos y herramientas empleadas para llevar a cabo su implementación. De forma paralela, es necesario educar y formar a los profesionales del diseño para asistir y promover los procesos y herramientas de implementación de la PtD. Luego, se concluye que sin la continua investigación y sin esfuerzos en la difusión del concepto, la aceptación e implementación de la PtD en los sectores de la industria no se producirá (Gambatese, 2008).

En el gráfico que muestra el concepto de implementación del concepto de PtD (ver fig. 14), se muestra cuáles son los factores que influyen en la implementación de la PtD y, tras haber instaurado el concepto mediante estos, se obtienen los efectos que produce esta integración de la PtD sobre la gestión de la obra, a calidad del proceso, etc.

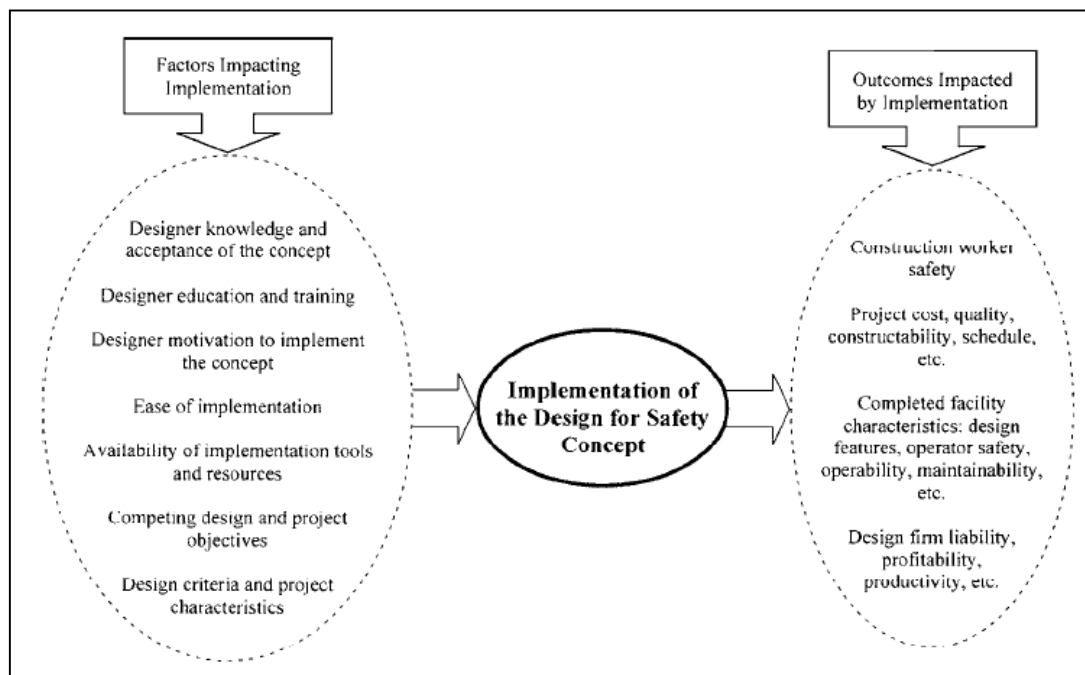


Figura 14. Factores e impactos de la implementación de la PtD.

Fuente: (Gambatese *et al.* 2005).

A continuación, se exponen las principales estrategias o herramientas para la implementación del concepto de la PtD:

- **MATERIALES Y SISTEMAS MENOS PELIGROSOS**

Aumento de la utilización de materiales y sistemas menos peligrosos. Los profesionales del Diseño suelen especificar los materiales que serán utilizados para la obra basándose en el rendimiento que ya conocen por su experiencia en su uso y por los costes que tienen, rara vez los eligen pensando en la seguridad intrínseca de los materiales para la construcción o de los trabajadores. Cada vez son más los promotores y diseñadores que son conscientes de la existencia de algunos

materiales, esencialmente similares en rendimiento y con un coste competitivo con el de los productos tradicionales, pero que son considerablemente menos peligrosos para instalar o aplicar. Esto es particularmente cierto en el caso de recubrimientos, adhesivos y limpiadores, que se asocian con la calidad del aire, la inflamabilidad y los peligros para la piel (Gambatese *et al.*, 2008; Toole & Gambatese, 2008).

○ **UTILIZACIÓN DE LA INGENIERÍA**

Mayor utilización de la ingeniería de la Construcción. Hay muchos casos en que se hace imprescindible la ingeniería para planificar o ejecutar una tarea o detalle constructivo. Dentro de este grupo se incluyen sistemas de retención de tierras, grúas, montacargas, estructuras temporales, puntos de anclaje de protección contra caídas, etc. Todos son ejemplos de tareas habituales en la Construcción que requieren la aplicación de principios de ingeniería, porque implican el tratamiento y control de fuerzas y tensiones. Es destacable el crecimiento de estos sistemas de ingeniería que, además, han permitido aumentar la capacidad para construir. En este sentido, podemos poner como ejemplo los encofrados deslizantes, los equipos hidráulicos de posicionamiento de secciones prefabricadas de puentes, etc., mecanismos que permiten la construcción de puentes de grandes dimensiones con la eliminación de un gran número de riesgos laborales (Gambatese *et al.*, 2008; Toole & Gambatese, 2006; Toole & Gambatese, 2008).

○ **DEFINICIÓN DE ESPACIOS DE TRABAJO**

Aumento de la investigación en la definición de espacios de trabajo. En la fase de redacción del Proyecto es necesario considerar las limitaciones a tener en cuenta según el entorno de la obra; por ejemplo, las líneas eléctricas existentes, las tuberías o aguas subterráneas, las medianerías y su estado, etc. Además, durante esta misma fase, deben considerarse los espacios y distancias de trabajo adecuadas para cada uno de los distintos oficios que intervienen en la Construcción así como para la ubicación de las herramientas comunes. Por ejemplo, la distancia mínima entre las grúas y la red eléctrica, el ancho mínimo de zanja necesario para permitir la colocación eficiente de tuberías y conexiones, el espacio mínimo entre las líneas eléctricas y las estructuras adyacentes que permita una instalación segura y eficiente, etc. También se deben incluir las cuestiones de ergonomía; por ejemplo, en el diseño estructural de acero, en el de instalación del aire acondicionado y en el de los sistemas eléctricos se estudiará si las conexiones requieren que el trabajador realice las tareas de colocación de los elementos que en cada una intervienen en posiciones de trabajo incómodas que puedan producir lesiones musculoesqueléticas (Gambatese *et al.*, 2008; Toole & Gambatese, 2006; Toole & Gambatese, 2008).

○ **PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN**

Esta es la principal herramienta sobre la que se enfoca este estudio de revisión literaria, debido a sus características, pues se pretende demostrar que mediante la implementación de sistemas de construcción *off-site*, se halla un camino directo a la implementación de la Prevención mediante el Diseño. Respecto a esta cuestión, S. Wuamuziri (2011) afirma en su publicación "*Factors that Contribute to Positive and Negative Health and Safety Cultures in Construction*" que la Prefabricación es una herramienta que puede crear una cultura preventiva positiva en las obras de

construcción, pues favorece que el lugar de trabajo sea un entorno seguro (Toole & Gambatese, 2008).

En las últimas décadas han aparecido en el mercado un gran número de elementos prefabricados que han mejorado la Seguridad y Salud en obra, además de haber producido una mejora a en los costes, programación y los rendimientos (Toole, 2001; CII 2002; Hewitt & Gambatese 2002). Por ejemplo, la eliminación de riesgos de caídas desde altura es un hecho que se ha debido a la existencia de una gran cantidad de elementos que son montados bien en fabrica o bien antes de la puesta en obra (desde armaduras, perfilaría ya ensamblada, ventanas, etc.); la eliminación de riesgos de atrapamientos en zanjas al realizarse las conexiones fuera de ellas; etc. (Gambatese *et al.*, 2008; Toole & Gambatese, 2006; Toole & Gambatese, 2008).

Además del la la eliminación de un número elevado de riesgos, permite un aumento de los estándares de calidad (Gambatese *et al.*, 2008; Toole & Gambatese, 2006; Toole & Gambatese, 2008).

Según Tooloe & Gambatese (2008) la Prefabricación reduce el nivel de peligro de una tarea de dos maneras:

- La primera, permitiendo que la ubicación del trabajo se traslade a un entorno menos arriesgado (Gambatese *et al.*, 1997). Por ejemplo, el trabajo en alturas se traslada a nivel de suelo (donde las lesiones por caídas son menos probables); desde una excavación se traslada a un nivel por encima (donde no existe riesgo de derrumbe), o se trasladan los trabajos en espacios confinados a otros más despejados (donde existe menos peligro en cuanto a la calidad del aire).
- La segunda es que la prefabricación permite trasladar el trabajo desde la obra hasta la fábrica, lo que permite llevar a cabo cortes y soldaduras con equipamientos automatizados y más seguros. Los equipos de una planta de fabricación reducen la incidencia de lesiones musculo-esqueléticas a través de protecciones mejoradas y reduce riesgos en la calidad del aire mediante la ventilación. De este modo, se pueden obtener toda clase de componentes prefabricados y realizar su montaje en entornos más seguros y mediante procesos más controlados (como escaleras metálicas o cerramientos de hormigón, entre otros).

A la pregunta: ¿Cómo de rápido se difundirá la Prevención a través del Diseño (PtD o DfCS) mediante el uso de la Prefabricación? Es importante constatar si la Prefabricación se irá incrementando gradualmente debido a los beneficios que presenta en relación al coste, la planificación y el rendimiento independientemente de si la PtD se difunde a través de la industria. Aunque los costos de transporte y las limitaciones debidas al tamaño continuarán cercando su crecimiento, la mejora en la aplicación de las tecnologías de la información impulsará un incremento de la Prefabricación al facilitar el flujo de información y la personalización en los diseños. Tal flujo de información jugará un importante papel en la implantación de la PtD porque los diseñadores, en general, carecen del conocimiento suficiente sobre el diseño específico de montajes prefabricados en sus proyectos. Debido al hecho de que los diseñadores aún no están buscando los aspectos relacionados con la seguridad de los conjuntos prefabricados y los fabricantes de componentes

prefabricados todavía no utilizan tecnologías de la información para comunicar los beneficios de seguridad de sus productos, es probable que todavía pasen unos años antes de que se lleve a cabo una difusión de la PtD a través de la Prefabricación (Toole & Gambatese, 2008).

○ EDUCACIÓN

Otro concepto importante a tener en cuenta para la adopción de la Prevención desde la fase de Diseño es la educación, ya que es una de las barreras existentes en su implantación dada la falta de formación entre los diseñadores en relación a la seguridad en la construcción (Gambatese, 2003). Por lo tanto, la educación se trata de una herramienta de información dirigida a proyectistas, ingenieros, promotores y constructores, acerca de los riesgos para los trabajadores y de cómo desarrollar y promover soluciones seguras de diseño (Lew & Lentz, 2008).

A través de la educación se estimula a los empresarios a demandar diseños más seguros como a motivar a las comunidades profesionales a ir incrementando progresivamente su consciencia en aquellas características del diseño que pueden impactar en la seguridad y salud de los trabajadores. Este servicio prestado por la educación es muy importante ya que los profesionales de la Seguridad y Salud Laboral necesitan comunicarse y trabajar juntos con los diseñadores e ingenieros en la fase de diseño, pues su opinión sobre lo que funciona y lo que no es imprescindible en la elaboración de los proyectos de construcción (Schulte *et al.*, 2008).

Tal y como señalan Bruce & McGrath (2005), se puede afirmar que la mayoría de los accidentes podrían ser prevenidos si se coordinara una política educativa efectiva, entendida en términos de calidad y mejora continua, a través del diseño de iniciativas y proyectos preventivos en el ámbito escolar, financiación de recursos humanos y materiales, desarrollo de una legislación apropiada e implantación de estrategias de supervisión para asegurar la aplicación de forma correcta y organizada. De manera que para que haya una enseñanza efectiva en valores preventivos es imprescindible que la administración educativa ponga los medios necesarios tanto técnicos como humanos para que desde la escuela se contribuya a que nuestros alumnos/as de hoy, futuros trabajadores, tengan interiorizados hábitos saludables y conocimientos preventivos (Bruce & McGrath, 2005).

M. Behm (Behm, 2008) propone siete recomendaciones para sustentar el impulso de la PtD:

- 1) Recoger, combinar y compartir programas de ptd, listas de chequeo, buenas prácticas, etc, de manera que se ajusten al tipo de construcción y de empresa.
- 2) Desarrollar casos de estudio para promotores y diseñadores.
- 3) Clarificar las cuestiones de responsabilidad con las aseguradoras y abogados
- 4) Crear educación en PtD en las organizaciones profesionales (o en CEUs, en caso de EE. UU., donde en algunos estados, es obligatorio acudir a estas

unidades de educación para la renovación de la titulación de arquitectos e ingenieros).

- 5) Desarrollar procesos estándar (ANSI, building code, etc). Definir PtD y los procesos.
- 6) Aplicar LEED/sostenibilidad en la difusión de la PtD.
- 7) Colaborar y educar organizaciones profesionales clave (American Institute of Architects, Construction Industry Institute, and Construction Users Roundtable).

Además, M. Behm (Behm, 2008) expone que para poder crear una consciencia entre los arquitectos que les impulse a adoptar la Prevención a través del Diseño (PtD), se debería primero colaborar con las organizaciones profesionales a las que estos pertenecen (como los colegios profesionales), pues estas educan e influyen sobre sus miembros. Y añade que sería ineficaz incorporar el concepto de PtD a la universidad hasta que la industria no lo incorpore de forme estándar a un cierto nivel. Por lo que concluye que para que la PtD pueda tener el impacto esperado, es esencial la perspectiva investigadora y la educacional.

La Agencia Europea (OSHA, 2009) manifiesta la necesidad de integrar la Seguridad y la Salud en el sistema educativo. En este sentido, señala una serie de factores internos que de forma coordinada y colaborativa lograría el éxito de la integración. Estos factores están divididos en seis fases: Información, planificación, decisión, realización, evaluación, seguimiento.

Así para aumentar las probabilidades de que la educación y entrenamiento en PtD se integre en los planes de estudios y en el entrenamiento de la mano de obra, es recomendable que queden identificados las barreras y los impulsores del cambio a todos los niveles y en todos los sectores de la industria (Mann III, 2008). Diversos autores opinan que la integración de la Prevención a través del Diseño en los planes de estudios puede realizarse con éxito si se consigue que PtD sea una Certificación (Mann III, 2008; Arezes & Swuste, 2011).

También F. A. Manuele (Manuele, 2008) propone ciertas estrategias para adoptar la PtD a través de la Educación:

- Expandir el conocimiento y los conceptos de PtD.
- Desarrollar materiales educativos para los planes de estudios de ingeniería.
- Coordinar colegios, sociedades, industria y trabajadores para crear conciencia acerca del concepto de la Prevención mediante el Diseño.

En esta publicación, F.A. Manuele (Manuele, 2008) distingue dos grupos a los que debe de dirigirse la educación: el académico (los profesores y estudiantes), y el practico (los ingenieros profesionales de la industria y de la seguridad). Además muestra varios ejemplos internacionales comprometidos con llevar a cabo la educación en cuanto a cuestiones de prevención como los siguientes:

- En Mayo de 2006, el gobierno australiano promulgó Guidance on the principles of safe design for work (una guía para el trabajo sobre pautas de la PtD).
- El número de Enero/Febrero de 2007 de la revista Safety Science, una publicación europea, es una edición especial. En ella, catorce de sus dieciséis artículos son presentaciones realizadas en los talleres de trabajo sobre "Seguridad en el diseño" celebrados por the New Technology and Work Network, una entidad europea.
- En marzo de 2007 the Occupational Safety and Health Administration Construction Alliance Roundtable Design for Construction Safety Group impartió un curso de 2-4 horas titulado "Design for Construction Safety".
- En abril de 2007 the Institution of Mechanical Engineers in the UK, con nueve co-patrocinadores, incluyendo Health and Safety Executive, impartió un taller de trabajo titulado "Risk Education for Engineers in the UK". Uno de sus propósitos era obtener una comprensión de la necesidad de educar a los ingenieros graduados en conceptos de riesgo. Estudios han mostrado que los ingenieros graduados, en gran parte, no son conocedores de los riesgos y peligros y de las técnicas de evaluación de los mismos.

Aparte de este autor, también otros muestran en sus publicaciones ejemplos cómo conducir la educación en prevención de riesgos en el sector de la construcción. Se exponen a continuación:

En su estudio, R. Valdés-Vásquez (2011) documenta la enseñanza de la PtD mediante la implementación de un módulo de sostenibilidad social dirigido a ingenieros civiles y estudiantes graduados mediante un curso de construcción sostenible. Para llevar a cabo la valoración e implementación del módulo de enseñanza propuesto se realizaron cuatro pasos generales (ver fig. 15).

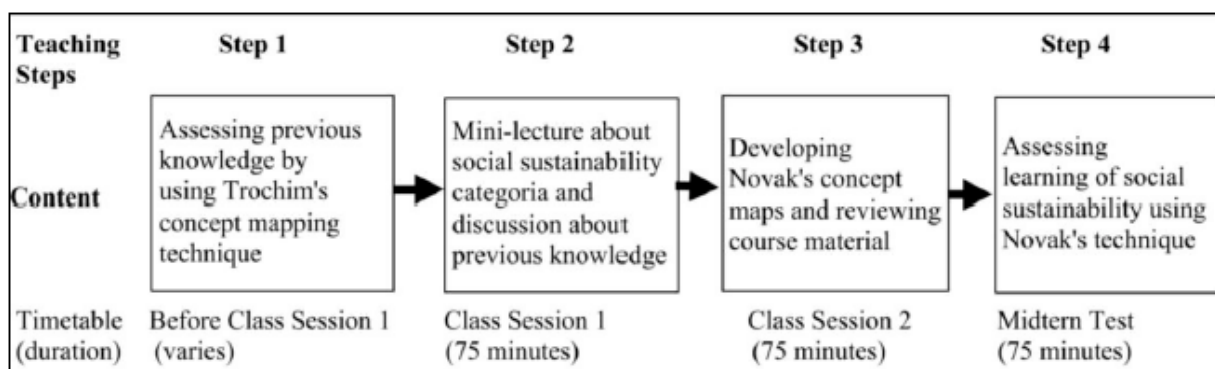


Figura 15. Enfoque de Enseñanza para las categorías sociales de la Construcción Sostenible.

Fuente: (Valdés-Vásquez, 2011).

El objeto de este estudio es proponer una tendencia de mejora en el aprendizaje de la Prevención a través del Diseño (PtD), formando parte del concepto de la sostenibilidad en los proyectos de construcción.

En resumen, para lograr la correcta implementación de PtD, se concluye que, en orden a incorporar la herramienta de la prevención en las etapas iniciales de diseño, es necesaria la creación de un punto de unión entre instituciones educativas, las limitaciones profesionales y empresariales y los grupos de investigación (Vasconcelos *et al.*, 2011).

Además, los proyectistas necesitan mayor formación tanto en Seguridad y Salud como en el conocimiento del proceso constructivo para poder aplicar la PtD. Además, deben estar al día de las innovaciones de materiales y su puesta en obra (Martínez Aires, 2009).

5. PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

5.1. ANTECEDENTES Y ORÍGENES DE LA PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

La Industrialización tuvo su origen en Inglaterra transcurrida la mitad del siglo XVIII, desde donde se expandió al resto de Europa y del mundo. Ésta fue introduciéndose en distintos sectores: transportes, agricultura, metalurgia, etc., aunque sus comienzos en la construcción resultaron tardíos (finales del siglo XVIII) en comparación con otras actividades similares. Además, distinguiendo entre Industrialización y Prefabricación, se puede afirmar que los inicios de la Prefabricación en la construcción fueron anteriores al proceso industrial (Gómez Jaúregui, 2009; Escrig, 2010).

De este modo, el primer ejemplo de **Prefabricación modular**⁷ se remonta al siglo XVI de la mano de Leonardo da Vinci, quien planificó, previo encargo, una serie de ciudades en la región del Loire. Su planteamiento consistió en establecer una fábrica de elementos básicos en el centro y origen de cada ciudad para que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios; dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por el mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad de tipologías edificatorias con un mínimo de elementos constructivos comunes (Ceballos-Lascuráin, 1973).

Otro ejemplo del siglo XVI se halla en los pabellones de madera prefabricados que albergaron a los soldados durante las ofensivas en la guerra declarada entre Francia e Inglaterra de mano de Francisco I y Enrique II. Estos módulos de madera eran transportados por barco y eran los mismos soldados quienes los montaban y desmontaban, de forma que se establecían campamentos resistentes, confortables y ágiles en sus desplazamientos (Aguiló *et al.*, 1974).

Mediante una técnica muy similar, en 1578 también se levantó en la tierra de Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la Great House, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachussets, al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos (Aguiló *et al.*, 1974). Sin embargo, estos ejemplos no pueden ser considerados como Prefabricación en el sentido estricto de la palabra, pues los elementos no se construyeron en serie, ya que fueron diseñados para edificaciones singulares, aunque es importante señalar el apreciado cambio de mentalidad aplicado a la construcción (Gómez Jaúregui, 2009).

Como se indica al inicio de esta Memoria, la posibilidad de industrializar la construcción comenzó a ser una posibilidad tangible a finales del siglo XVIII, tanto en Europa como en Estados Unidos. De esta forma, en Europa se comenzó la construcción de puentes y cubiertas utilizando hierro fundido, material que sería

⁷ Tipología constructiva en la que módulos independientes y prefabricados con antelación fuera de su ubicación final, son unidos o ensamblados en obra.

aplicado posteriormente a la elaboración de pilares y vigas de edificios. Mientras, en Estados Unidos, se llevó a cabo la tipología de construcción de edificios 'Ballon Frame', formados por listones de madera procedentes de fábrica y ensamblados mediante clavos de fabricación industrial (Gómez Jaúregui, 2009).

Pero, es a finales del siglo XIX cuando se vuelve a emplear el hormigón en el proceso de edificación, lo cual no se daba desde la época romana, y que aplicado junto a entramados de alambres, constituía una materia prima idónea para prefabricados (Gómez Jaúregui, 2009).

Así, en 1889, tuvo lugar la primera patente de edificio prefabricado a partir de módulos tridimensionales en forma de "cajón apilable" (ver fig.16), creada por Edward T. Potter en Estados Unidos (Potter, 1890). También comenzaron a aparecer otros sistemas modulares, como los módulos cilíndricos (Wisner, 1919), o módulos cúbicos (Witzel, 1919), entre otros.

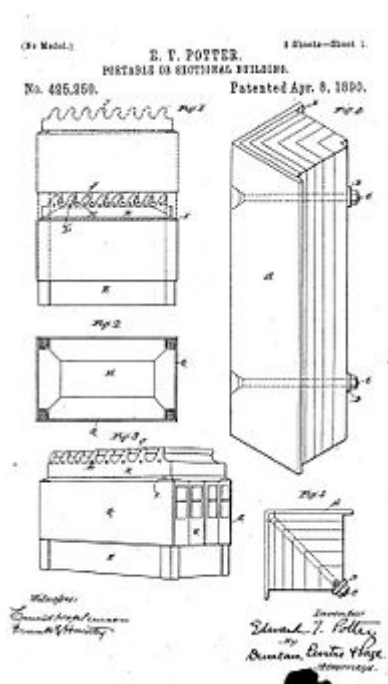


Figura 16: Sistemas de módulos apilables. Edward T. Potter.

Fuente: (Escrig, 2010).

En 1892, Edmond Coignet levantó el primer edificio compuesto por elementos prefabricados de hormigón armado en su totalidad. Este edificio se trataba del Casino Municipal de Biarritz y fue diseñado por el arquitecto Calinaud (Collins, 2004).

A principios del siglo XX, tiene lugar el comienzo de la construcción industrializada con hormigón en Estados Unidos. Con este tipo de construcción se intentan reducir costes sustituyendo las paredes de obra por paneles portantes moldeados de hormigón y para izarlos a continuación.

En la primera mitad del siglo XX, Le Corbusier presenta 'el Modulor', una concepción de los edificios residenciales como "máquinas de vivir" (Escrig, 2010). El modulor es

un sistema armónico de medidas y no de cifras. Por lo que está constituido en base a la medida del hombre, a la sección áurea y a las series de Fibonacci. Así, el patrón del sistema Modulator es la medida del hombre, en concreto, de un hombre de 1,83 m de altura que con el brazo en alto alcanzaría los 2,20 m (Franco Taboada, 1996). Este sistema fracasó debido a la mentalidad existente en ese periodo, pues se trataba de una sociedad que se mostraba reacia a los cambios en los sistemas de diseño y producción. Además resultaba compleja la lectura de los libros "El Modulator I" y "El Modulator II" de Le Corbusier (ver fig. 17), (Franco Taboada, 1996).

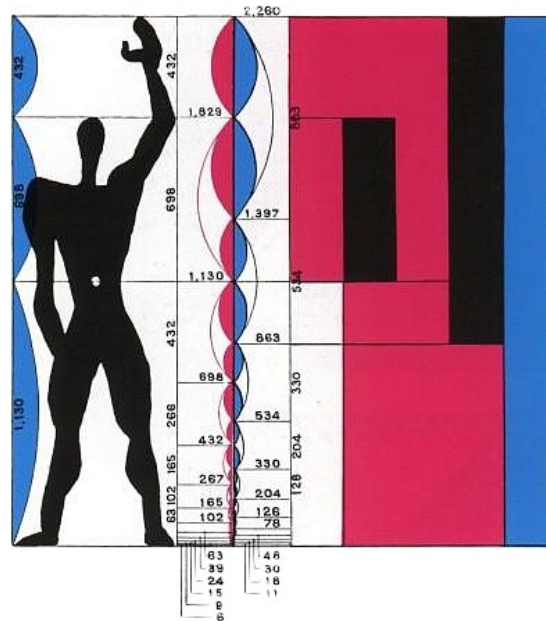


Figura 17. Sistema de medidas El Modulor de Le Corbusier.
Fuente: (Página web ARKITENIA, 2012).

Pero no fue hasta después de la II Guerra Mundial, cuando la construcción prefabricada comenzó a tener relevancia y peso, debido a la gran demanda de construcción residencial en Europa (sobre todo en el este) y Rusia, y a los pocos recursos económicos consecuencia de la Guerra. Este tipo de construcción prefabricada respondía a sistemas de diseño cerrados donde primaban los elementos a base de grandes paneles de hormigón. Dichos sistemas de diseño propiciaron que los estándares de calidad y la estética de las edificaciones fueran mínimos. Por lo que, la Prefabricación le era impuesta al proyectista como una herramienta económica e incompatible con el diseño arquitectónico. Es a partir de aquí, cuando se concibe la Prefabricación como una construcción temporal, masiva, mediocre e impersonal (Gómez Jaúrequi, 2009).

Durante los años 60 y 70 se realizaron diversos proyectos en aras de renovar y modernizar el concepto de la vivienda modular, destacando el proyecto 'Hábitat 67', desarrollado por Moshe Safdie y su equipo técnico para la Exposición Universal de Montreal de 1967. El proyecto consistía en "una maraña de cubos entrelazados entre sí". Tras este proyecto, se intentaron llevar a cabo otros cinco, pero no fueron viables económicamente (Gómez Jaúrequi, 2009).

A partir de 1970, en los países de la Unión Europea, la demanda de viviendas experimentó un cambio hacia viviendas unifamiliares de mayor calidad. La Prefabricación basada en sistemas cerrados intentó evolucionar mediante la búsqueda de mayor flexibilidad, elasticidad y variación durante la fase de producción para poder obtener un producto más diversificado. Esta evolución fue la que sentó las bases del sistema de Prefabricación abierto (Escrig, 2010).

A finales del siglo XX, la Prefabricación a base de sistemas cerrados quedó obsoleta, de manera que los edificios construidos mediante este método fueron demolidos y abandonados y se sustituyeron por edificaciones realizadas mediante sistemas tradicionales. Por otro lado, en el sector que prosperó la Prefabricación fue en la edificación industrial y pública (hospitales, colegios, oficinas, etc). Dado que se aplicaron nuevas tecnologías a los elementos prefabricados de hormigón, como resultado se obtuvieron elementos prefabricados de hormigón, tanto estructurales como constructivos, con una variedad de formas y calidades que no se habían conseguido hasta el momento (Escrig, 2010).

5.2. ESTADO DEL ARTE

5.2.1. INDUSTRIALIZACIÓN Y PREFABRICACIÓN

La 'Prefabricación' (*Pre-fabricated Construction*) se conoce con diversos términos genéricos en el lenguaje científico, tales como: 'Manufactured construction', 'off-site construction', 'off-site manufacturing', 'industrialised building systems' and 'modern methods of construction' (MMC), los cuales son utilizados indistintamente en la literatura existente; siendo la intención de la Prefabricación, enmarcar la obra de construcción en un entorno controlado en fábricas (Arif & Egbu, 2010). De esta forma, la construcción prefabricada podría proporcionar una serie de beneficios específicos, tales como mayor velocidad de construcción, mejora de la calidad de los productos, disminución de los costes y reducción de operarios en obra (Mullens & Arif, 2012).

Industrialización y Prefabricación, a menudo son dos conceptos que tienden a confundirse entre ellos y que se utilizan, en ocasiones, indistintamente por su estrecha relación, pero atendiendo a su definición exacta:

La **INDUSTRIALIZACIÓN** es el proceso constructivo que, de manera racional y automatizada, emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad. Así pues, la Industrialización implica que el producto completamente terminado vaya a obra, luego no son necesarias operaciones de ensamblaje, como en el caso de la Prefabricación (Gómez Jaúregui, 2009).

La **PREFABRICACIÓN** se define como el sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica, fuera de su ubicación final y que en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte del edificio o construcción. Por lo tanto, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el

terreno no son de elaboración, sino de montaje (Gómez Jaúregui, 2009). La Prefabricación es una forma de materializarse el proceso de Industrialización de la construcción (Seminario de Prefabricación, 1974).

Goodier & Gibb (2007) definen la construcción prefabricada como 'La fabricación y el montaje previo de los componentes, elementos o módulos antes de la instalación en la ubicación final'. Varios investigadores en la materia han clasificado y definido las técnicas de estos métodos constructivos en base al tipo de producto prefabricado, según si es un componente prefabricado (component sub-assembly), pre ensamblaje no volumétrico (non volumetric pre-assembly), pre ensamblaje volumétrico (volumetric pre-assembly), sistemas modulares y sistemas híbridos (Goodier & Gibb, 2007; Arif & Egbu, 2010), (ver tabla 3).

Level	Category	Definition
1	Component manufacture & sub-assembly	Items always made in a factory and never considered for on- site production
2	Non- volumetric pre-assembly	Pre-assembled units which do not enclose usable space (e.g. timber roof trusses)
3	Volumetric pre-assembly	Pre-assembled units which enclose usable space and are typically fully factory finished internally, but do not form the buildings structure (e.g. toilet and bathroom pods)
4	Modular Systems	Pre-assembled volumetric units which also form the actual structure and fabric of the building (e.g. prison cell units or hotel/ motel rooms)
5	Hybrid system	Consists of a combination of any two or more volumetric or non-volumetric systems. (extensively used in commercial and residential buildings)

Tabla 3. Clasificación de los niveles de Construcción *off-site*.

Fuente: (Goodier & Gibb,2007)

Dado que en la construcción de una edificación prefabricada se llevan a cabo, fundamentalmente, operaciones de montaje, la cantidad de residuos, escombros y suciedad generados en obra es un número notablemente inferior que en la construcción tradicional. De este modo, se puede afirmar que el grado de Prefabricación de un edificio se puede valorar de acuerdo a la cantidad de residuos producidos en obra, es decir, cuanta más cantidad de residuos se produzcan en obra, menor será el índice de Prefabricación de la construcción (Aguiló *et al.*, 1974).

Por otro lado, los beneficios de la Prefabricación han sido ampliamente estudiados (Gibb, 1999; Sparksman *et al.*, 1999; Housing Forum, 2002; Parry *et al.*, 2003; Venables *et al.*, 2004; Pan *et al.*, 2007, etc.), entre los que destacan reducciones en tiempo, defectos, riesgos de seguridad y salud, impacto medio ambiental, coste de la vida completa con el consecuente incremento en la predicción, productividad, rendimiento de la vida útil total y rentabilidad (Gibb & Isack, 2003; Venables *et al.*, 2004; Pan *et al.*, 2007; Tam *et al.*, 2007; Eastman & Sacks, 2008).

Sin embargo, a pesar de que estos Métodos Modernos de Construcción (MMC) implican, la mayoría de las veces, un aumento en la calidad, perfeccionamiento y

seguridad del producto, desafortunadamente, al término de *Prefabricación* se le sigue atribuyendo un significado despectivo (Gómez Jaúregui, 2009). En este sentido, dicho concepto constructivo ha sido históricamente asociado a una baja calidad y a la exclusión social, lo cual puede afectar negativamente a los proveedores y fabricantes de prefabricados en la actualidad (Goodier & Gibb, 2005; Pan *et al.*, 2006). El diseñador y arquitecto autodidacta, defensor de la vivienda prefabricada, Jean Prouvé era consciente de la connotación negativa que suscitaba la Prefabricación, ya que decía que “lo que se *califica como prefabricado, acaba asimilándose a edificio provisional*” (Prouvé J., 1979).

5.2.2. EVOLUCIÓN DE LA PREFABRICACIÓN CERRADA A LA INDUSTRIALIZACIÓN ABIERTA

En el periodo comprendido entre 1950-1970 los sistemas cerrados de construcción (Prefabricación pesada a base de grandes paneles de hormigón) fueron dominantes en la llamada “Europa del Este” y en los países que conformaban la Unión Europea. En general, la Industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta incompatible con la arquitectura (Salas, 2008).

Posteriormente, entre los años 1970-1985 la Construcción Prefabricada cerrada trató de orientarse a la flexibilidad, elasticidad y variación y en 1975, se sentaron tímidas bases de Industrialización abierta (Salas, 1981; Salas, 1982).

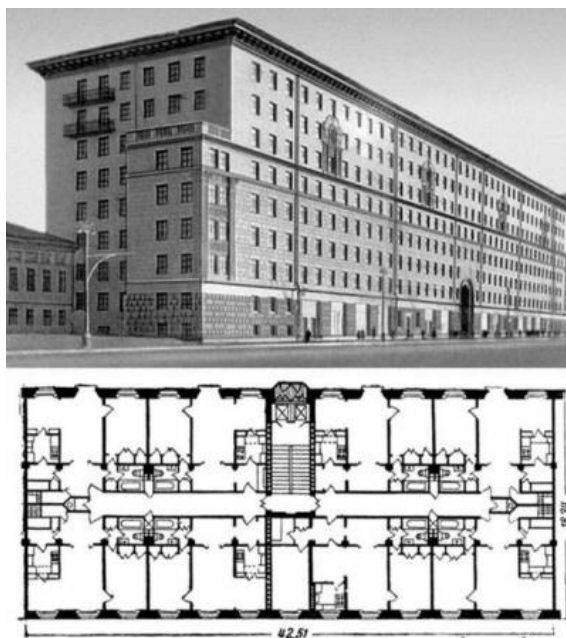


Figura 18. Edificio de Bolshaya Kaluzhskaya, Moscow. Construcción industrializada basada en diseños cerrados. Distribución en planta.

Fuente: (Escrig, 2010).

Entre los años 1985 a 2000, se llevaron a cabo diversos proyectos de demolición, cuya construcción databa de la posguerra, e irrumpió con fuerza la Prefabricación de

edificios públicos (Salas, 2008). La Industrialización de la construcción de naves y polígonos se realizó mediante grandes elementos prefabricados de hormigón (Calavera & Fernández, 1999) y mediante el "hormigón arquitectónico" o *fachadismo* (expresión acuñada por el Seminario de Prefabricación) que permitió prefabricar elementos impensables por formas y calidades hasta ese momento (P.C.I., 1976; C.I.B. Comisión W29, 1987; A.C.I., 1991).

A partir del año 2000 se consolida la Industrialización sutil (Salas, 2008), descrita como *la forma creciente como llegan a las obras elementos, componentes y subsistemas de origen industrial* (Salas & Oteiza, 2009), la cual distingue dos tipos:

- Industrialización sutil cerrada: cuando la procedencia de los elementos, componentes y subsistemas proceden de una única industria.
- Industrialización sutil abierta: cuando se trata de procedencias variadas.

En la actualidad se defiende el paradigma de que en el presente se apuesta por la Industrialización abierta y ligera en contra de la cerrada y pesada (Salas & Oteiza, 2009).

Así, se puede definir la Industrialización abierta como la posibilidad cierta de que componentes complejos de distintas procedencias y generados con diferentes formas de producción, bajo directrices de proyecto redactadas con mentalidad y disciplina industrial, propicien como resultado, espacios construidos mayoritariamente a base de componentes producidos por empresas distintas (Salas, 2008).

Salas (2008) enuncia en su trabajo "De los sistemas de Prefabricación cerrada a la Industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico" cuatro procesos de construcción a base de componentes industrializados:

- Sistemas cerrados: los elementos se fabrican de acuerdo a especificaciones internas del propio sistema, respondiendo así a reglas de compatibilidad interna y haciendo que el proyecto arquitectónico se subordine a las condiciones del sistema.
- Empleo parcial de componentes: gama de productos y prestaciones fija, aunque se admiten ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. Pueden emplearse en obras o proyectos tradicionales pues no requieren un grado de Industrialización en su uso.
- Sistemas tipo mecano: sistemas evolucionados hacia una apertura "acotada" de los sistemas cerrados y preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.
- Sistemas abiertos: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en distintos tipos de obras, ya sean industrializadas o no, y en diversos contextos. Suelen emplear juntas universales, gamas modulares acotadas y flexibilidad de proyecto prácticamente total.

En la actualidad uno de los métodos constructivos industrializados que más auge está teniendo es la edificación modular. La cual está realizada a base de módulos tridimensionales que se elaboran íntegramente en fábrica y, una vez terminados, se

transportan a la obra, donde se montan de forma sencilla y rápida. Mediante este método de construcción, los edificios se conforman por medio de células espaciales de grandes dimensiones (Gómez Jaúregui, 2009).

Dentro de la construcción modular, se pueden distinguir varios tipos (Gómez Jaúregui, 2009):

- Pods: Son módulos de cocina y/o baño que se fabrican monolíticamente mediante un proceso industrial, que contienen todas las instalaciones en su interior. Una vez terminados se llevan a obra para su montaje.
- Viviendas unifamiliares: Compuestas por uno o varios módulos. Tanto el proceso como el montaje se caracterizan por su sencillez.
- Edificios en altura: Realizados a base de composiciones modulares.
- Contenedores: Contenedores de acero utilizados por la industria marítima que, apilados y yuxtapuestos los unos con los otros, generan edificios susceptibles de albergar oficinas, residencias, hoteles, etc.

En resumen, se puede afirmar que el proceso de la construcción industrializada ciertamente no se ha detenido, pero hoy en día es tremendamente pragmático y heterogéneo en un mercado como el de la edificación que, por encima de todo, es abierto.

5.2.3. MARCO ACTUAL INTERNACIONAL

Christian Escrig (Escrig, 2010) concluye que la situación económica de crisis actual ha originado que la demanda de vivienda residencial descienda de manera significativa, lo que afecta principalmente a las empresas dedicadas a la construcción, sobre todo, las de construcción tradicional. En cambio, las empresas dedicadas a prefabricados de hormigón han evolucionado a un sistema abierto de producción seriada o de catálogo de componentes o partes de edificios. Así, progresivamente se ha ido dando respuesta a la demanda de calidad mínima requerida por el sector, pues el diseño de edificios prefabricados ha experimentado una mayor flexibilidad.

La mejora en los procesos de producción de elementos prefabricados responde a los aspectos clave (Escrig, 2010):

- La mejora de los medios de producción, que han evolucionado gracias a los avances tecnológicos y la mejora de los sistemas productivos.
- La optimización de la organización del proceso, gracias a la mejora de la disposición funcional de los medios productivos, la automatización de tareas y el empleo de medios susceptibles de usos alternativos.

Según Salas & Oteiza (2009), la implantación de la Industrialización de la Construcción varía dependiendo de la zona geográfica:

- Países escandinavos como Suecia y Finlandia poseen rasgos comunes en cuanto a su difusión, como son: el clima hostil, la abundancia de madera que la convierte

en principal materia prima y el apoyo por parte de la administración pública. En Finlandia es habitual el uso de componentes producidos *off-site* y, además, las grandes empresas producen estos elementos en fábricas propias.

Respecto a Suecia, el 90% de las viviendas unifamiliares nuevas se producen con sistemas industrializados de madera. El grado de automatización industrial en Suecia es superior al de Norteamérica. Dicha automatización ha producido un descenso de empleo en la edificación, pero ha originado que muchos trabajadores sean mano de obra especializada.

Además, cabe mencionar que, debido a la financiación del gobierno sueco en cuanto a investigación y desarrollo de estándares mínimos de calidad y de eficiencia energética, se fomenta la competitividad entre las empresas.

Finalmente, es a destacar la aportación sueca en cuanto a viviendas 'Boklok 3D' comercializadas por IKEA.

- En Estados Unidos, el establecimiento de 'Manufactured Home Construction and Safety Standards Act' en 1976 (42 U.S.C. Sections 5401-5426), también conocido como el código 'Housing and Urban Development (HUD)', fue diseñado para regular la construcción de viviendas prefabricadas. Estos estándares federales regulan el diseño y construcción de las viviendas prefabricadas, así como su resistencia y durabilidad, transporte, resistencia al fuego y eficiencia energética (Goulding *et al.*, 2012).

Un estudio de la PFS Corporation (PFS Corporation, 2003) mencionó como factores favorecedores de la Edificación Industrializada: el incremento en el coste de mano de obra in situ y la escasez de mano de obra cualificada; la reducción en el coste total de inversión debido a una producción más rápida y el fácil control de su ejecución; y la utilización de prefabricados, que reduce la duración de la obra y mejora su control.

La aportación más significativa de la 'Industrialización abierta' en este país consiste en la construcción de viviendas unifamiliares de alto nivel técnico realizadas como *Industrialización abierta, singular, específica y por encargo*.

Debido al alto número de catálogos respecto a estas soluciones constructivas, la vivienda industrializada se ha convertido en un producto competitivo en el mercado.

- En Japón, el éxito de la producción industrial se debe al apoyo del gobierno y al buen estado de la economía.

Este país está a la cabeza mundial en Construcción *off-site*, por ejemplo, compañías como Sekisui Homes producen al año 70.000 viviendas prefabricadas (Goulding *et al.*, 2012).

La producción de viviendas prefabricadas se inició en los setenta. El mercado de la vivienda japonés reivindica la calidad, la eficiencia energética y la diversidad, y

hacer compatible la producción en serie y la personalización del diseño (Sackette, 1986).

Famosos fabricantes de automóviles, como Toyota, entró en el mercado de la vivienda 'Toyota Home' y se aprovechó de la optimización de los procesos de la cadena de producción de automovilismo y de las mejoras tecnológicas para adaptarlas a la producción de viviendas. Actualmente, se trabaja para que las viviendas prefabricadas tengan "cero-emisión de CO₂", sacando al mercado "casas ecológicas" dotadas de instalaciones energéticamente más eficientes respondiendo, así, a la sostenibilidad (Noguchi, 2000).

- Se podría decir que en el Reino Unido, uno de los mayores defensores de la Construcción *off-site* es el gobierno, debido a que dirige el empuje de la aplicación de la Prefabricación en el sector de la edificación. Así, desde 2004, 'the Housing Corporation' comenzó a exigir que, al menos el 25% de las nuevas viviendas sociales fueran construidas empleando MMC (Housing Corporation, 2003).

En el informe de Egan, titulado 'Rethinking Construction' (Egan, 1998) se explica que el gobierno de Reino Unido identificó este sistema constructivo como principio fundamental para mejorar la construcción del siglo XXI.

Las tecnologías de Prefabricación han sido empleadas durante mucho tiempo en la industria de la construcción del Reino Unido y se extienden desde la Prefabricación de componentes a la Prefabricación modular (Gibb, 1999; Housing Forum, 2002).

Así, referenciando los niveles de edificación prefabricada, Gibb (1999) plantea cuatro categorías de Construcción *off-site* (ver fig. 19).

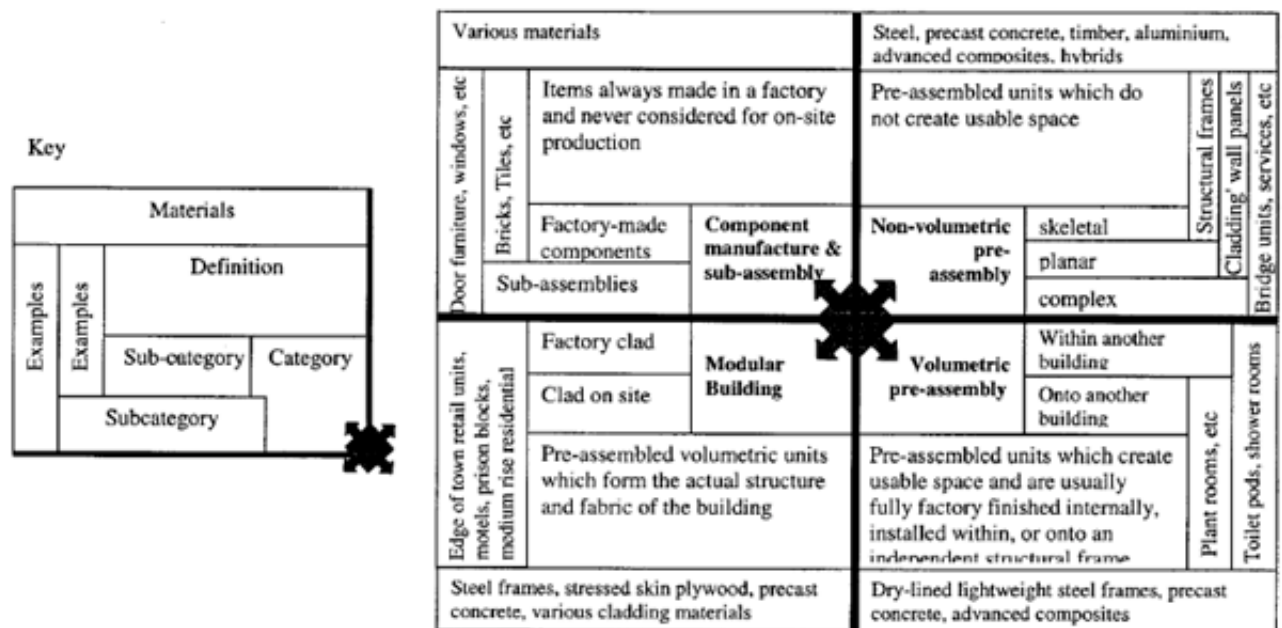


Figura 19. Cuatro categorías de Prefabricación, definiciones, subcategorías, ejemplos y principales materiales.

Fuente: (Gibb, 1999).

En los últimos años la industria de la construcción ha estado dirigida a incrementar la utilización de los Métodos Modernos de Construcción (MMC), con el objeto de aumentar la calidad de las edificaciones. A pesar de que los beneficios acerca del uso de estas tecnologías de edificación han sido demostrados, su dedicación en la industria de la construcción de Reino Unido, es lenta (Pan *et al.*, 2008).

El Parque de la innovación en vivienda, 'Building Research Establishment' (BRE, 2012) inaugurado en 2005, ofrece una serie de prototipos que muestran las propiedades de los Métodos Modernos de Construcción (MMC), de viviendas que se aproximan a cero emisiones de CO₂. En 2007, el núcleo central de la exposición fue 'OFF-SITE 2007' y consistía en siete prototipos con diferentes características y que mostraban innovaciones tecnológicas (NHBC Foundation, 2012).

Sin embargo, a pesar de todos los beneficios e iniciativas globales, la admisión de la Construcción prefabricada es mucho más lenta de lo esperado, con una cuota de mercado reportada en el Reino Unido por debajo del 6% (Taylor, 2010).

En el Reino Unido, se han llevado a cabo investigaciones que relacionan el coste con la construcción *off-site*. Un ejemplo de una de las investigaciones llevadas a cabo, consiste en comparar el coste de mantenimiento de módulos de cuartos de baño frente a los tradicionales (Pan *et al.*, 2008), donde se obtuvo que el coste en los baños prefabricados era menor al de los tradicionales.

Como ejemplo de edificación prefabricada en Reino Unido, se puede destacar el edificio Woolverhampton Student hall (Escrig, 2010), construido en 2010 y que

constituye el edificio prefabricado más alto de Europa con 24 pisos y una altura de 75 m (ver fig. 20).



Figura 20. Edificio Woolverhampton Student hall. Woolverhampton, Reino Unido.

Fuente: (Web Construcción y Vivienda, 2012).

- En Holanda, el principal precursor de la Industrialización del sector de la edificación es John N. Habraken, quien intenta dar a los usuarios una participación activa en la toma de decisiones en cuanto a la configuración de las viviendas. Es decir, diferencia entre “soportes” (responsabilidad de los proyectistas) y “partes separables” (responsabilidad de los usuarios), (Habraken *et al*, 1979) y (Habraken, 2005). Por otro lado, en 1999, el gobierno de los Países Bajos llevó a cabo el Programa IFD “Proyectos demostrativos de construcción Industrializada, Flexible y Desmontable” mediante los Ministerios de Asuntos Económicos y de Vivienda, Planeamiento Espacial y Medio Ambiente, con la intención de promover la Industrialización del sector de la edificación. De este programa, destaca la propuesta de la vivienda ‘Variomatic’ del arquitecto Kas Osterhuis en 1999 (Salas & Oteiza, 2009).
- En Australia, la industria de la construcción ha identificado como clave la utilización de la Prefabricación e Industrialización para la mejora de la construcción de la próxima década (Hampson & Brandon, 2004).

5.3. ESTADO DEL ARTE EN ESPAÑA

A pesar del auge que tuvo la construcción de viviendas en España en la última década (ver tabla 4). Por ejemplo, entre los años 2005 a 2007 se construyeron unas 2.596.207 viviendas de nueva planta y, sin embargo, no se consideró impulsar la Industrialización del sector de la edificación (Salas *et al.*, 2009), apostando, una vez más, por los sistemas tradicionales de construcción.

AÑO	Nº LICENCIAS NUEVA PLANTA	Nº EDIFICIOS NUEVA PLANTA CONSTRUIDOS	Nº VIVIENDAS NUEVA PLANTA CONSTRUIDOS	TOTAL CONSTRUIDOS NUEVA PLANTA
2003	91.526	167.138	471.455	638.593
2004	102.333	184.278	544.578	728.856
2005	106.208	203.377	604.345	807.722
2006	120.664	230.044	737.186	967.230
2007	96.626	187.147	634.098	821.245
2008	61.396	93.678	268.435	362.113
2009	40.347	51.744	130.546	182.290
2010	35.692	44.781	91.645	136.426

Tabla 4. Información histórica anual: obras de nueva planta periodo 2003 – 2010.

Fuente: (INE, 2012).

En los últimos años, se ha producido un acercamiento a los grupos de I+D+i, concretado éste en tres Proyectos de Investigación y Desarrollo subvencionados por los Ministerios de Ciencia e Innovación y de Industria (Proyectos singulares como INVISIO (INVISIO, 2012), CETICA (CETICA, 2012) y HABITAT 2030 (HABITAT 2030, 2012)).

En el estudio llevado a cabo por J. Montes *et al.* (2011), se investigaron 24 edificios seleccionados que contuvieran un mínimo significativo de elementos industrializados en su construcción en la ciudad de Madrid.

El objetivo de esta investigación era conocer el nivel de Industrialización de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid (EMVSM). En el citado estudio se obtuvieron una serie de conclusiones que revelan la situación actual de la Industrialización del sector de la edificación en España:

- La poca implantación de la industria y la baja tecnología de los sistemas constructivos utilizados, pues carecen de gran avance tecnológico. Es más, los elementos fabricados en serie (elementos *off-site*) se instalan en las obras de forma tradicional.
- En cuanto al proceso constructivo, se obtendría una mayor eficiencia en tiempo y calidad si se consideraran todos los aspectos y los agentes intervinientes en todas las fases de la edificación, desde el diseño hasta la ejecución final.
- Además, la mayoría de las veces se opta por sistemas tradicionales de construcción porque, a la hora de redactar el proyecto, no se dispone de la información suficiente acerca de los medios y conocimientos de la constructora contratada.

En España, el grado de Industrialización global de la edificación es bajo, a pesar de que se han implantado en todo el país componentes prefabricados de hormigón de gran calidad. De hecho, las técnicas avanzadas de hormigón se han implantado con un alto nivel tecnológico (Salas *et al.*, 2009).

También cabe mencionar, que en el ámbito escolar, se lleva utilizando la arquitectura prefabricada desde hace años, sobre todo, en Cataluña. Por lo que, en España, la arquitectura escolar constituye un ejemplo claro de edificación prefabricada. Por ejemplo, más de 200 escuelas han sido industrializadas con éxito desde el año 2002 en Cataluña. Además, la Prefabricación utilizada en las escuelas españolas ha tenido lugar en periodos bien diferenciados, distinguiendo: antes de 1970, durante los años 70, los años 1980 y 1990, y por último, los años 2000. De estos periodos, la Prefabricación ha sido máxima en los años 1970, en los que se prefabricaron centenares de centros “tipo” en todo el país, y los años 2000 (Pons, 2010).



Figura 21. Escuela Gerbert d'Orlhac en Sant Cugat, España.

Fuente: Jordi Benardó (PCI Journal, 2011).

Dado que este tipo de edificaciones de tipo docente necesitan cierta flexibilidad en cuanto a su uso, los sistemas de construcción prefabricada cumplen este objetivo. Es decir, en un edificio escolar se debe tener en cuenta que se pueda facilitar un cambio en su distribución, dependiendo de las necesidades de uso, de aquí que tenga que ser flexible. También permite incorporar importantes criterios de sostenibilidad, utilizando materiales que puedan ser reutilizados, o que los paneles de fachada incorporen placas solares, entre otros (Pons, 2011).

Sin embargo, a pesar de la poca Industrialización del sector en general, existen ejemplos significativos en España, entre los que se destacan:

- Con motivo de la Feria de la Construcción CONSTRUTEC'04 en el IFEMA de Madrid, el arquitecto J. M. Reyes dirigió un prototipo demostrativo conformado por cinco viviendas transformables 'Domino 21', y que se ejecutaron a base de componentes compatibles '3D'. Este prototipo se describe en la revista informes de la construcción número 512 (Informes de la construcción, 2008).
- La empresa 'Modultec Modular Systems' (MODULTEC, 2012) construye escuelas y centros de salud de una gran calidad mediante elementos '3D' conformados por estructuras de acero.

- Destacan los prototipos de vivienda solar de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSAM-UPM), presentados en el concurso internacional 'Solar Decathlon' (SOLAR DECATHLON, 2005 y 2007), el cual se organiza por el Departamento de Energía de Estados Unidos con el objetivo de promover la investigación y construcción de viviendas unifamiliares autosuficientes.
- La 'Casa Kyoto' (ver fig. 22) citada por Pich-Aguilera *et al.*, (2008). Es un prototipo de casa bioclimática construida con elementos prefabricados de hormigón y con una estructura versátil que permite una readaptación de sus componentes. Fue presentada por primera vez en el Salón internacional de la construcción Construmat en 2005.



Figura 22. Casa Kyoto en Tarragona, España.
Fuente: (Web CASAS PRÊT-À-PORTER, 2012).

A. Del Águila *et al.*, (2009), en su artículo, destacaron como ejemplo original de Prefabricación español, la Promoción de 484 viviendas distribuidas en varios edificios realizados con paneles prefabricados de hormigón, con una altura de 20 plantas, la mayor que se ha conseguido en España mediante este sistema de edificación (ver fig. 23).



Figura 23. Promoción de 484 viviendas realizadas con paneles prefabricados de hormigón en España.
Fuente: (Web de INDAGSA, 2012).

La citada Promoción de viviendas fue desarrollada mediante el sistema INDAGSA⁸ (INDAGSA, 2012). Este sistema es una muestra de la arquitectura prefabricada que se está llevando a cabo en España en la actualidad y su versatilidad permite su aplicación a todo tipo de edificación. Se basa en la combinación de elementos prefabricados de hormigón con estructura "in situ" y, dado que es un sistema de Prefabricación abierta, permite la combinación con otros sistemas constructivos tradicionales. Los elementos *off-site* que emplea son paneles arquitectónicos de hormigón armado, los cuales están previstos para trasdosar, portantes o autoportantes (con doble función estructural y de cerramiento), forjados prefabricados con autorización de uso, elementos lineales estructurales, y elementos singulares.

Este proyecto está dotado de gran interés en lo que respecta a la investigación, por lo que se llevó un estudio pormenorizado del mismo, dirigido por el Catedrático, con participación de Doctorandos del parte de los Becarios-Investigadores del grupo "TISE", que participan en el Proyecto Singular Estratégico INVISO⁹ (Queipo *et al.*, 2009) (al que se hará mención a continuación) para promover la vivienda industrializada.

Según la mención anterior, el Proyecto singular y estratégico de investigación INVISO (Industrialización de Viviendas Sostenibles), se inicia en 2006 con el objetivo de optimizar la producción de viviendas utilizando la Industrialización en los procesos constructivos y promoviendo el desarrollo de nuevas soluciones basadas en criterios de sostenibilidad para la producción y uso de las viviendas. De esta forma, se definen dos vertientes en las que se clasifica el proyecto: la vertiente INDUSTRIALIZADORA y la vertiente centrada en la SOSTENIBILIDAD. Dentro de las

⁸ INDAGSA: Empresa de Ingeniería y Fabricación fundada en 1992, perteneciente al Grupo Ortiz.

⁹ INVISO: Proyecto INVISO. Proyecto de "Optimización de la Producción de Viviendas, Industrialización, Eficiencia y Sostenibilidad", dirigido por un consorcio de empresas y organismos públicos, entre los que destaca el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC).

mismas se enmarcan los subproyectos que forman parte del Proyecto INVISIO (Queipo *et al.*, 2009). Así, los subproyectos que se llevaron a cabo dentro de cada conjunto son:

- Conjunto "INDUSTRIALIZACIÓN":
 - SP2 DISEÑO DE TIPOLOGÍAS DE SOLUCIONES RACIONALIZADAS
 - SP5 OPTIMIZACIÓN DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS
 - SP6 AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
 - SP7 DESARROLLO DE HERRAMIENTAS INFROMÁTICAS
- Conjunto "SOSTENIBILIDAD":
 - SP3 GENERACIÓN SOSTENIBLE DE ENERGÍA EN VIVIENDAS
 - SP9 DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE SOLUCIONES TÉCNICAS INNOVADORAS
 - SP10 SISTEMAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EFICIENTE DE LAS VIVIENDAS
- Como complemento a estos dos conjuntos de subproyectos se encuentra:
 - SP1 ANÁLISIS DEL ENTORNO SOCIOECONÓMICO, COORDINACIÓN Y DIFUSIÓN

Además, en cuanto al desarrollo de la Industrialización en el sector de la edificación se refiere, destaca la agrupación MANUBUILD (ManuBuild, 2012), la cual consiste en un consorcio de empresas e instituciones de la U.E. constituido en 2005 para investigar y extender el empleo de la Industrialización abierta a la edificación de viviendas. Tal y como C. Ruiz-Larrea *et al.*, (2009) explican en el artículo "El Proyecto Manubuild: una propuesta de la aplicación de sistemas industrializados a la vivienda colectiva en España", dicha agrupación pretende producir una actividad sostenible y así como proporcionar al usuario cierta capacidad de decisión al usuario. Uno de los miembros a destacar de MANUBUILD es la Empresa Municipal de la Vivienda de Madrid (EMVs), la cual convocó en 2006 dos concursos restringidos de ideas arquitectónicas en el contexto de la estrategia marcada por el Proyecto Integrado I+D+i MANUBUILD, (el primero de ellos, financiado por la Comisión Europea a través del 6º Programa Marco). El segundo concurso, ganado por el equipo RLA (Ruiz-Larrea & Asociados), se convocó con el objeto de adjudicar el proyecto definitivo y la dirección de obra del edificio de 50 viviendas de protección pública en el PAU de Carabanchel. El objetivo buscado por la EMVS en esta promoción fue: *"construir un edificio experimental que actúe como demostrador de la operatividad y la eficacia de las nuevas soluciones constructivas. Este edificio deberá ser altamente industrializado, sostenible, flexible, personalizado para el usuario, más económico, más seguro y de menos coste en su mantenimiento que las construcciones convencionales y estar abierto, además, a las innovaciones"*. De esta forma, el proyecto ganador "TRES AL CUBO":

"Asegura desde el origen una compatibilidad con los productos y sistemas industrializados, trabajando a partir de una matriz geométrica abierta. Dicha matriz

favorece la integración de los sistemas activos y pasivos orientados al ahorro energético. Como resultado, se obtiene un catálogo completamente abierto de productos y sistemas industrializados” (Ruiz-Larrea *et al.*, 2009).

Dado que está quedando demostrado el creciente interés que suscita la búsqueda de la innovación en la construcción se considera oportuno mencionar las conclusiones deducidas acerca de la Industrialización en la edificación de este estudio, el cual está basado en las II Jornadas de Investigación de la Construcción (IETcc-CSIC) celebradas en el año 2008 (IETcc-CSIC, 2008). Estas conclusiones realizadas sobre el paradigma de la Industrialización de la vivienda se presentaron mediante seis trabajos, siendo las principales: promover el acero como solución constructiva en el desarrollo de la Industrialización (Proyecto CENIT); aportar soluciones para sistemas abiertos de Industrialización (Proyecto europeo Manubuild); se propone la utilización de paneles de hormigón para resolver las fachadas planta a planta; promover la Industrialización y sostenibilidad por medio de la aplicación de la construcción modular ligera a casas solares; apoyar la Industrialización del proceso constructivo a partir de un diseño adecuado (SP3 del Proyecto Estratégico INVISO) (Monjo *et al.*, 2008).

Aunque cada vez más existe más conocimiento acerca de los MMC en el sector de la vivienda y se están dirigiendo muchos esfuerzos en cuanto a su adopción, en nuestro país la obra sigue siendo, por lo general salvo excepciones ya mencionadas, el lugar de producción de las edificaciones. Es decir, al igual que en una fábrica, es el lugar donde llegan los materiales, la mano de obra y la maquinaria (Pich-Aguilera *et al.*, 2008).

5.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA CONSTRUCCIÓN OFF-SITE EN EDIFICACIÓN

5.4.1. VENTAJAS

La Industrialización es una forma de controlar todo el proceso de forma sistemática y racionalizada. Los beneficios perseguidos mediante el uso de elementos de procesos industrializados, principalmente están en el aumento de la calidad constructiva, en la eficiencia del proceso constructivo y en el aumento de la seguridad en obra, antes que en el ahorro económico. Luego la Prefabricación e Industrialización supone una estrategia para impulsar el sector de la construcción (Montes *et al.*, 2011). El incremento de la calidad figura de las razones más importantes para la adopción de la Prefabricación en varios estudios llevados a cabo (Goodier & Gibb, 2007; Pan *et al.*, 2007).

Además, permiten la optimización de los recursos mediante y mejora en el rendimiento en cuanto al aprovechamiento de los materiales, los tiempos de ejecución y plazos de entrega, entre otros. Es decir, permiten optimizar la construcción mediante rutinas de trabajo estandarizadas y con un mayor grado de participación tecnológica (Gómez Jaúregui, 2009; Escrig, 2009).

Diversos autores indican que los métodos de construcción prefabricados e industrializados, mediante el sistema utilizado de construcción en seco¹⁰, originan menos cantidad de escombros y restos en las obras de construcción, lo que favorece una gestión eficaz de los residuos, permitiendo su reciclaje y resultando, de este modo, una arquitectura menos perjudicial para el medio ambiente que la tradicional, pues se genera menos contaminación ambiental y acústica (Gómez Muñoz, 2008; Gómez Jaúregui, 2009; Montes *et al.*, 2011). De esta forma, también se garantiza la limpieza de la obra, muy importante en cuestiones de seguridad.

Dado que los trabajos en la Prefabricación, al contrario que en la construcción tradicional, requieren operarios más especializados y cualificados, se ven reducidos de forma significativa los accidentes laborales del sector (Gómez Jaúregui, 2009; Escrig, 2010).

Gómez Jaúregui (2009), señala que, dado que la construcción modular permite que se ejecute el 95% en taller, se reducen los parones debidos a las condiciones meteorológicas adversas y, por tanto, se mejoran las condiciones laborales de los trabajadores. También afirma que mediante la construcción modular, los planos presentan una precisión mayor que los de un proyecto de ejecución tradicional, lo que beneficia el mantenimiento de las instalaciones.

Ya que mediante los procesos *off-site*, se reduce el número de operaciones a realizar *in situ*, salvo el ensamblaje o montaje, disminuyen de manera significativa los acopios y la elaboración de piezas en obra y, por tanto, se consigue reducir el tiempo de ejecución de la edificación. Además, su uso también conlleva a una reducción del costo total (Escrig, 2010).

Dadas estas ventajas generales en cuanto a la implementación de procedimientos industrializados en la edificación, cabe señalar los aspectos positivos que presentan en algunos componentes en concreto, como los elementos fijos que forman el esqueleto y la piel del edificio: las instalaciones, la estructura y la fachada. Estos elementos están destinados a perdurar, por lo que, en este sentido es interesante el empleo de componentes *off-site* pues ofrecen procesos de producción controlados, comprobados y fiables (Montes *et al.*, 2011).

De este modo, en el estudio llevado a cabo por Montes *et al.* (2011) sobre '*la Industrialización de la vivienda social en Madrid*', se comprobó que el uso de estructura metálica permite reducir el espesor de la fachada y reducir el tiempo de puesta en obra respecto al hormigón *in situ*. Sin embargo, la fachada es donde se emplean más elementos industrializados, debido a que presentan buena calidad y control en el acabado. Luego, el uso del componente *off-site* como elemento repetitivo de acabado regular, permite que piezas de gran formato se adapten a distintas situaciones sin alterar su imagen. De entre los productos empleados en fachada, el más común es el panel de hormigón armado. Estos paneles se montan sobre bandas horizontales que se disponen sobre la fachada, de modo que,

¹⁰ Procedimiento constructivo donde se emplean elementos secos o prefabricados en sustitución de otros húmedos como el hormigón, los morteros de cal, cemento, yeso, etc.

realizando el montaje de los paneles lo antes posible sobre el forjado, pueden servir como peto durante la obra y ahorrar en sistemas de seguridad.

5.5. INCONVENIENTES Y OBSTÁCULOS EN SU UTILIZACIÓN

Uno de los mayores inconvenientes que sigue presentando la *Construcción off-site* es la rigidez que los componentes prefabricados originan en el diseño. En lo que a este hecho respecta, si se tiene en cuenta esta desventaja desde el diseño del proyecto, se pueden satisfacer las necesidades del proyectista, por lo que las empresas de elementos prefabricados ofrecen una amplia oferta de productos en esta fase. Un problema añadido es que los componentes de diferentes marcas disponibles en el mercado son incompatibles entre sí, por lo que resulta difícil la diversidad (Escrig, 2010).

Se debe tener en cuenta que ciertas cuestiones técnicas aún deben de perfeccionarse, pues las juntas entre diferentes elementos estructurales no garantizan la resistencia frente a sismo por sí mismas por lo que deben de realizarse ciertas intervenciones *in situ* para que sean eficaces (Escrig, 2010).

En el caso del montaje de paneles de hormigón en fachada, la puesta en obra se suele ejecutar mediante soldadura de perfiles metálicos embebidos en el panel a placas fijas del forjado, lo que limita notablemente el ajuste de su posición (Montes *et al.*, 2011).

Por otro lado, el hecho de que la inversión inicial sea mayor que cuando se trata de arquitectura prefabricada o industrializada, dificulta la adopción de la misma (Escrig, 2010). Además, no todas las constructoras tienen los medios y el conocimiento para aplicar cualquier solución constructiva. Este problema se acentúa si tenemos en cuenta que al redactar el proyecto no se sabe con qué constructora y qué medios se va a contar. De ahí que, a veces, se opte por sistemas tradicionales que siempre pueden llevarse a término (Montes *et al.*, 2011).

Finalmente, el sector de la construcción en España presenta una actitud negativa frente a los Métodos Modernos de Construcción del sector de la edificación, tanto por el rechazo del usuario final como por los intereses económicos de las constructoras (Escrig, 2010).

5.6. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN OFF-SITE

En la literatura actual, los beneficios de la construcción *off-site* han sido ampliamente estudiados (Gibb, 1999; Sparksman *et al.*, 1999; Housing Forum, 2002; Parry *et al.*, 2003; Venables *et al.*, 2004; Pan *et al.*, 2007, etc.), así como se ha examinado el papel de los participantes e impulsores clave en la adopción de la misma. Estas partes clave son el cliente, diseñador, constructor, arquitecto, proveedor y las autoridades (Badir *et al.*, 2002). La arquitectura prefabricada también necesita considerar las perspectivas a largo plazo. Los contextos y perspectivas económicos, sociales y medio ambientales influyen sobre el carácter de la Prefabricación en la

construcción (Arif & Egbu, 2010). Por lo que, a continuación, se exponen algunos ejemplos:

- Gibb & Isack (2003) realizaron una larga encuesta a clientes del sector de la construcción para conocer sus expectativas respecto a la arquitectura prefabricada y para impulsar la construcción modular en sus proyectos. Como resultado se obtuvo que ventajas como la mejora calidad y de los tiempos y la reducción del coste eran las principales razones por las que estos clientes la escogerían (ver fig. 24).

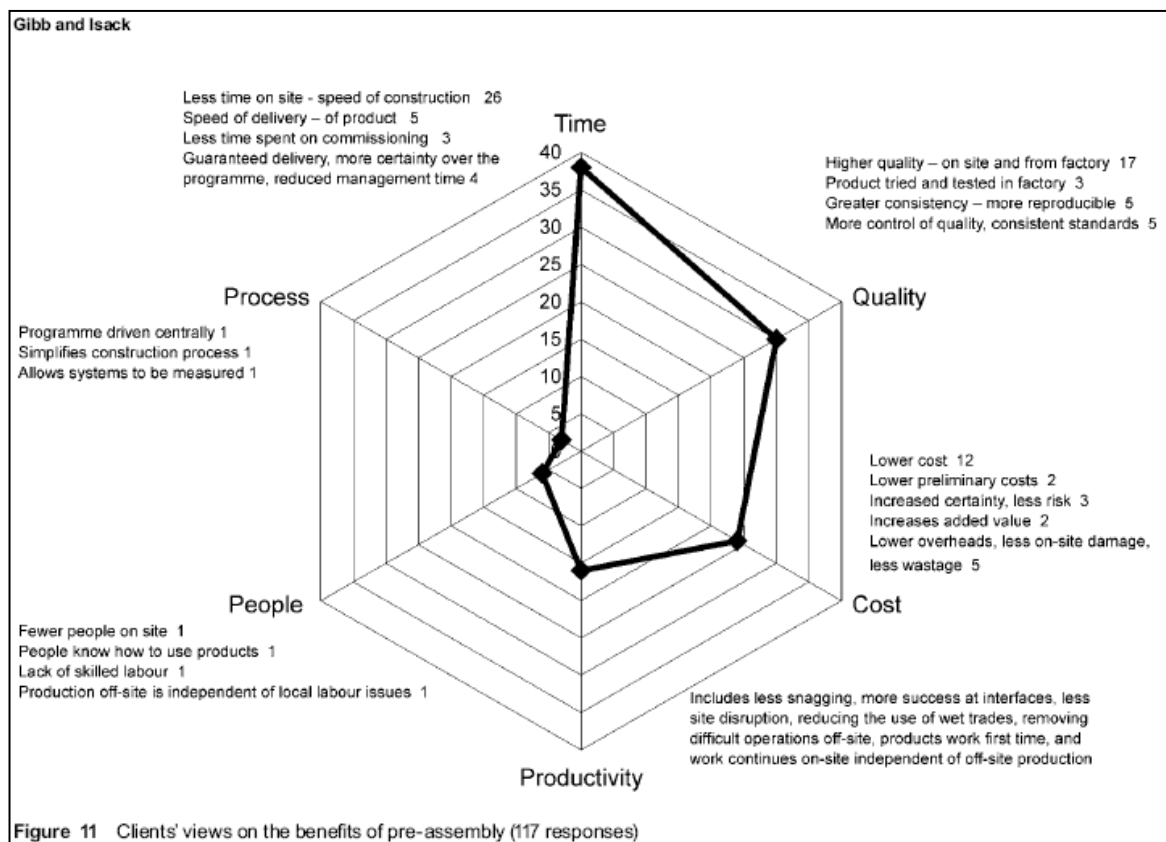


Figura 24. Opiniones de los clientes sobre los beneficios de la Prefabricación.

Fuente: (Gibb & Isack, 2003).

Los principales inconvenientes que mostraron los resultados de la encuesta fueron las limitaciones en las operaciones de ejecución de la construcción *off-site* dada la falta de experiencia al respecto y las limitaciones del diseño. Se concluyó que, para poder adoptarla, los fabricantes, constructores y diseñadores deben comprender el significado de la misma valorando sus beneficios.

- Blismas *et al.* (2006) en su estudio "*Benefit evaluation for off-site production in construction*" dirigió un cuestionario a encuestados de un trabajo anterior de Gibb & Isack (2003), para que hicieran una lista jerárquica de los beneficios, que, a su juicio, presenta la Prefabricación e Industrialización (ver tabla 5). Este estudio investiga la proposición donde la actual evaluación de los métodos para la

construcción *off-site* (OSP) están basados en el coste y no en el valor. Así los entrevistados clasificaron los beneficios respecto a costes indirectos, como se puede observar en la tabla siguiente. El estudio concluyó que hasta que la investigación global de los beneficios de la construcción *off-site* no esté basada en el valor más que en los costes, la adopción de la Prefabricación en la construcción será lenta.

Benefit (from most highly rated to lowest rating)	Cost-related
1. Minimises on-site operations	
2. Reduces congested work areas and multi-trade interfaces	
3. Minimises on-site duration	b
4. Improved health & safety by reduction and better control of site activities	
5. Produces high quality or very predictable quality finishes	
6. Minimises number of site personnel	a
7. Benefits when only limited, or very expensive on-site labour	
8. Enables existing business continuity	
9. Can cope with restricted site storage area	
10. Enables inspection and control off-site works	a
11. Provides certainty of project cost outcomes	
12. Provides certainty of project completion date	
13. Less environmental impact by reduction and better control of site activities	
a=cost-related; b=impact on cost.	

Tabla 5. Clasificación de los beneficios en orden decreciente de acuerdo a la importancia y probabilidad.
Fuente: (Gibb & Isack, 2003).

- En un estudio conducido acerca de la arquitectura *off-site* en Hong Kong (Tam *et al.*, 2006), se dirigió una encuesta dirigida a diversos constructores considerando siete beneficios principales que ésta aporta y para enmarcarlos en distintos niveles según su importancia. De los siete beneficios que formaron parte de la investigación, destacó en primera posición la ventaja de obtener una mayor supervisión de la calidad, debido a su adopción (ver fig. 25).

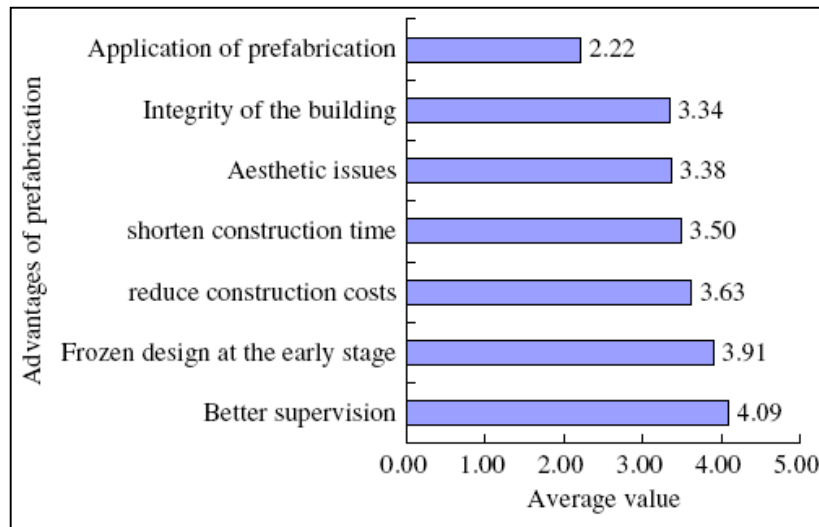


Figura 25. Ventajas de la aplicación de la Prefabricación.
Fuente: (Tam *et al.*, 2006).

En el mismo estudio, también se investigaron diez barreras seleccionadas (ver fig. 26) y, al igual que con la parte correspondiente a los beneficios, se pretendía enmarcarlas en diferentes niveles de importancia basados en las respuestas de los encuestados. Como resultado, el obstáculo que ocupó el primer puesto fue la 'inflexibilidad a la hora de hacer cambios en el diseño'.

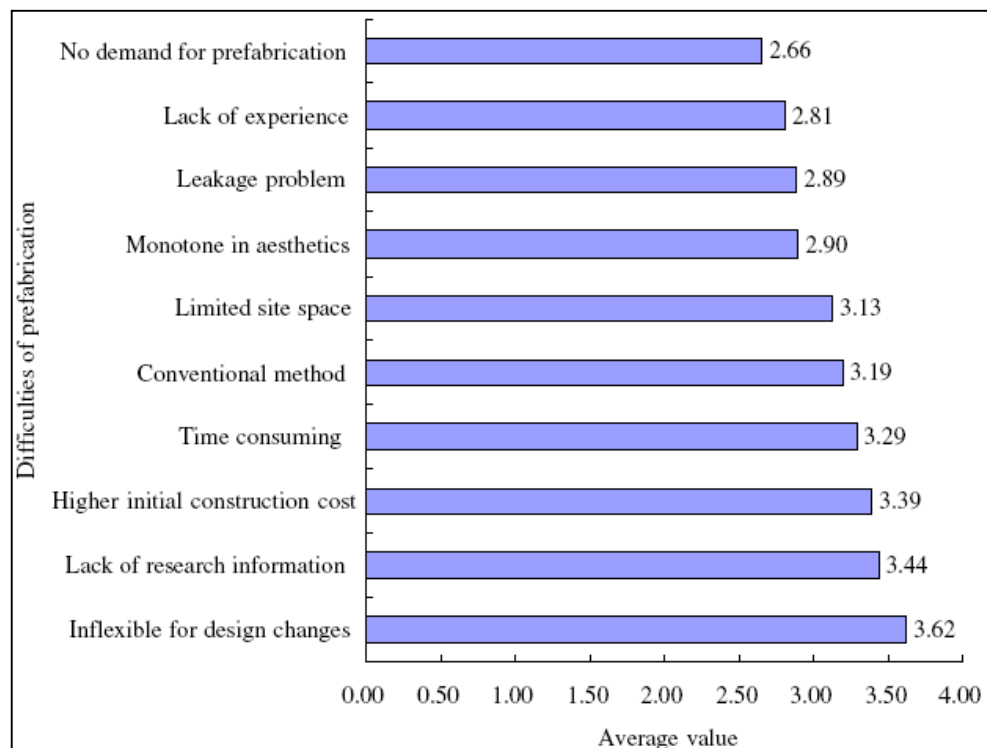


Figura 26. Obstáculos de la aplicación de la Prefabricación.
Fuente: (Tam *et al.*, 2006).

- Pan *et al.*, (2008) en su estudio '*Leading UK housebuilders' utilization of off-site construction methods*' llevaron a cabo una investigación donde fueron examinadas las consideraciones de los constructores respecto a la adopción de prácticas y estrategias de construcción de MMC (Métodos Modernos de Construcción). Para ello, se encuestaron 100 de los principales constructores del Reino Unido. Los resultados demostraron que el uso de la Prefabricación aún era bajo, pero concluyeron que esta cifra se iría incrementando debido a las presiones ejercidas en cuanto a la adopción de estas técnicas, dadas sus ventajas de mejora de la calidad, reducción de tiempo de ejecución, reducción del coste y aumento de la productividad y de la Seguridad y Salud laboral.
- Arif *et al.* (2012) dirigen un estudio mediante encuesta para descubrir las percepciones de la construcción *off-site* en la India. De los resultados obtuvieron que la construcción modular era el método constructivo menos considerado en este país. Entre las respuestas de los encuestados, destaca como ventaja principal la reducción del tiempo y entre los obstáculos para la adopción de la Prefabricación, adquieren gran interés el coste inicial y la personalización del diseño.
- (Pan & Sidwell, 2011) Una barrera crítica, la cual ha sido ampliamente documentada, es un coste de capital mayor asociado a las soluciones de Prefabricación, ya sea real o percibido, el cual va acompañado de la falta de disponibilidad al público de datos e información sobre los costes. Dewick & Miozzo (2002) concluyeron que "además de el aumento del riesgo y la falta de información y conocimiento público de las nuevas tecnologías, los costos involucrados en el uso de una nueva tecnología son la barrera más importante". Lim (2010) de manera similar comentó que la innovación está a menudo clasificada como una profunda inversión de coste en la industria de la construcción con una rentabilidad indeterminada, y que las peculiaridades de la industria consideran la innovación como un pobre instrumento competitivo para obtener beneficios directos.
- Por esto, en el estudio "*Desmystifying the cost barriers to off-site construction*"¹¹ *in the UK*" de Pan & Sidwell (2011) se dirige a una amplia perspectiva generalizada en cuanto al mayor coste de capital de las tecnologías prefabricadas en construcción, recurriendo a examinar el rendimiento del coste de estos métodos en comparación con el de la construcción convencional. El citado examen se llevó a cabo sobre 20 edificios residenciales de mediana a gran altura pertenecientes a ocho proyectos dirigidos por una compañía promotora en el Reino Unido, durante el periodo de 2004 a 2008. Las principales conclusiones obtenidas de este estudio fueron: que utilizar la Prefabricación en bloques de

¹¹ *Off-site Construction* se define como la parte de la construcción que se lleva a cabo fuera de la obra (Buildoffsite, 2006).

edificios no implica necesariamente un mayor coste que en la construcción tradicional; que el coste de capital para bloques de edificios prefabricados puede ser reducido de forma efectiva; y que se pueden lograr ahorros en los costes de construcción prefabricada mediante una gestión eficaz de los mismos. Los resultados de la investigación demuestran la importancia de desarrollar y utilizar relaciones positivas entre el promotor y los proveedores de Prefabricación para gestionar el coste y la eficiencia del diseño mediante la colaboración. La eficacia y reducción prolongadas de los costos no se da automáticamente por el uso de técnicas de Prefabricación, con el tiempo o la experiencia. Sino que requiere un compromiso a largo plazo de las organizaciones y la continua exploración de las tecnologías de Prefabricación en colaboración con sus cadenas de suministro. De lo contrario, el mito de un coste de capital más alto en la Prefabricación se hará realidad (Pan & Sidwell, 2011).

- Pan *et al.*, (2008) dirigieron un estudio "*Maintenance cost implications of utilizing bathroom modules manufactured offsite*" acerca de los coste de mantenimiento derivados del empleo de módulos de cuartos de baño prefabricados de hormigón, de poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), respecto al uso de cuartos de baño convencionales realizados in obra. Los módulos de baños prefabricados reciben el nombre común de 'pods', y son realizados y sometidos a pruebas de control de acuerdo a las condiciones de la fábrica (Gibb, 1999). Los resultados indicaron que los módulos prefabricados requieren un coste de mantenimiento menor que los realizados *in situ* y, dentro de los prefabricados, los de poliéster reforzados con fibra de vidrio eran los que presentaban el mantenimiento más económico (Pan *et al.*, 2008).
- Debido a que el sector de la información acerca del sector de la Prefabricación ha tenido limitaciones en cuanto a su tamaño, clasificación, estadísticas de empleo y valor añadido en el PIB de UK, Taylor (2010) presenta un método para la determinación del PIB y del IVA en la Prefabricación de UK en su estudio "A definition and valuation of the UK offsite construction sector". De este modo, ofrece datos históricos correspondientes al periodo 1998-2008 con previsiones de crecimiento hasta 2013. También se proporciona el desglose del sector. Los datos servirán como punto de referencia al gobierno y a la industria, estudios de mercado y a la previsión de un mayor crecimiento y difusión de las técnicas de Prefabricación (Taylor, 2010).
- Como fuente de información para los fabricantes, constructores, subcontratistas, organizaciones de comercio y consultores, el conjunto de datos presentados en este estudio podría utilizarse para proporcionar una fundación para la investigación futura del mercado y análisis de la industria. El principal desafío que enfrenta el sector de la construcción es la difusión de la Prefabricación en la educación, la formación, los nuevos productos (sistemas) y la demostración inequívoca de su capacidad para contribuir a la seguridad de la obra, la eficiencia de costes, control de costos, control de calidad, el diseño y la eficiencia de la construcción. Así, mediante la comprensión de la estructura del sector de la Prefabricación y el valor añadido, los investigadores pueden ser capaces de

utilizar el método presentado para medir año a año el crecimiento y desarrollo de las técnicas de la construcción prefabricada en el sector de la construcción en RU (Taylor, 2010).

En resumen, es esencial entender las diferentes dimensiones que implican los Métodos Modernos de Construcción (MMC), con el fin de apreciar su interrelación y, por consiguiente, desviar las preocupaciones y resistencias que plantan cara a la adopción de la construcción *off-site* (Nadim & Goulding, 2011).

5.7. EL CONCEPTO DE *LEAN CONSTRUCTION* Y LA SOSTENIBILIDAD APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN *OFF-SITE*

5.7.1. CONCEPTO DE *LEAN CONSTRUCTION*

El origen de *Lean Production* está basado en la industria de manufacturación de automóviles, más exactamente en el Sistema de Producción de Toyota (Ohno, 1998). *Lean* significa conseguir las cosas correctas en el lugar, tiempo y cantidad adecuados mientras se minimizan las pérdidas de forma flexible y abierta al cambio (Womack, 2005). La meta primordial de *Lean Production* es valorar a todas las partes interesadas, incluyendo los clientes internos y externos, así como eliminar las pérdidas. 'The New Motor Manufacturing' (NUMMI), fusión resultante de General Motors y Toyota, donde los principios y prácticas *Lean* han sido implementados satisfactoriamente en las plantas de automóviles con iniciales condiciones industriales pobres (Waurzyniak, 2005), muestra que es posible cambiar la cultura organizacional hacia la cultura *lean*.

Dennis (2002) resume los conceptos *Lean* en un gráfico (ver fig. 27), donde los fundamentos de *Lean Production* son la estabilidad y la estandarización. La estabilidad trata de poner orden en el caos que es una parte inherente de la empresa de fabricación. La estabilidad y la estandarización se apoyan mutuamente. Así, la estandarización proporciona estabilidad al lugar de trabajo, y la estabilidad se requiere para que el sistema de producción reúna niveles estándar de rendimiento. La estandarización o normalización se refiere al diseño intencionado de productos y procesos para lograr una mayor uniformidad y repetición (Nahmens & Mullens, 2011).

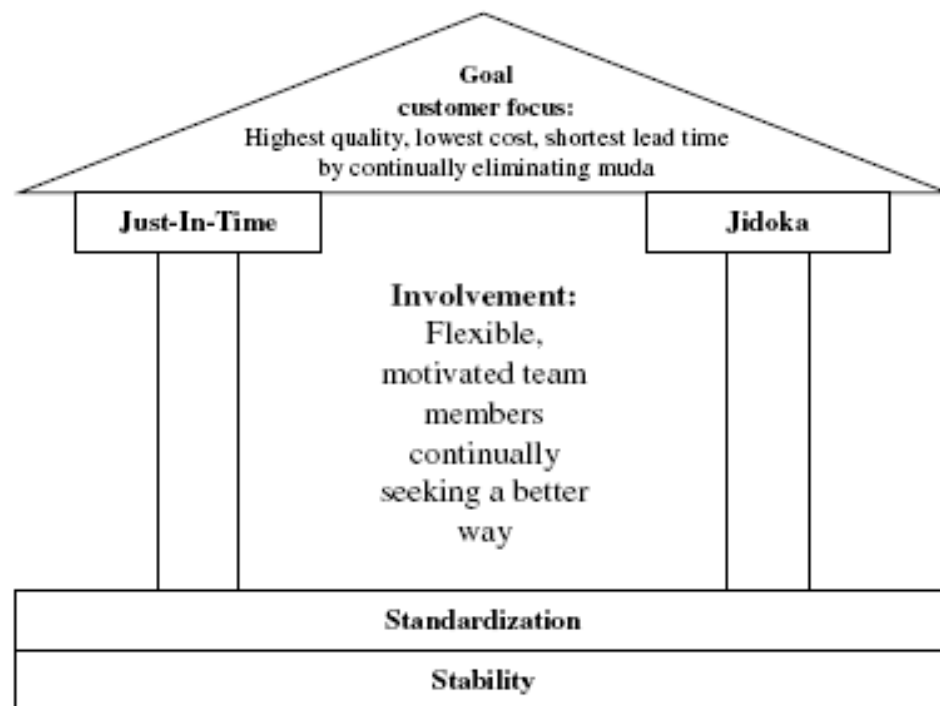


Figura 27. Conceptos *Lean Construction*.

Fuente: (Denis, 2002).

A finales de los años 80, un estudio de la industria automovilística mundial realizado por el Massachusetts Institute of Technology (Womack *et al.*, 1990) demostró que la productividad de fábricas japonesas estudiadas era el 50% superior frente a las fábricas norteamericanas y que la cantidad de defectos observados por unidad en las plantas japonesas era bastante menor que en las americanas. De esta forma, se demostró que las fábricas japonesas favorecían la multifuncionalidad y la polivalencia, lo que producía una menor especialización del trabajo, a diferencia de las fábricas occidentales.

De este modo, el concepto de *Lean Construction* fue instaurado por Womack *et al.* (1990) presentando cinco principios de producción: especificar el valor, identificar el flujo de valor, crear flujo y rendimiento y tender a la perfección. Womack & Jones (1996) difundieron los principios básicos y las herramientas utilizadas por el sistema de producción sin pérdidas de la industria de la manufacturación a través de la publicación de "*Lean Thinking*".

Koskela (1992) puso las bases para llevar a cabo la producción sin pérdidas en el sector de la construcción, analizando los sistemas productivos emergentes: como el enfoque "just-in-time", ingeniería concurrente, gestión de la calidad total, reingeniería de los procesos, así como las ideas aplicadas en el sistema de fabricación de Toyota. Más tarde, Koskela (2000) incorporó a la producción una visión integradora como flujo de información o de materiales, con tres objetivos: reducción de los costes, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente.

Las estrategias de *Lean* han sido probadas de manera eficaz en la mejora de los beneficios y de los niveles de productividad al minimizar las pérdidas (Womack &

Jones, 1996; Ballard & Howell, 1998; Dentz & Blanford, 2007). La implementación de las estrategias *Lean* tiende a la mejora del lugar de trabajo, de forma que asegura la Seguridad y Salud de los trabajadores mediante lugares de trabajo mejor diseñados y ordenados, reduciendo la oportunidad frente a los riesgos (Saurin *et al.* 2006; Koskela 1992, 2000). La evidencia presente en la literatura y en la práctica es que mediante la implementación de los principios lean, se reducen las pérdidas (Womack & Jones 1996; Salem and Zimmer 2005; Nahmens, 2007; Nahmens & Mullens 2009). Además, the 'U.S. Epa' confirmó la certeza natural existente entre *Lean Construction* y la sostenibilidad. La EPA (2003) encontró que produce un entorno operacional y cultural que es propicio a minimizar los riesgos y a la prevención de la contaminación, y que proporciona una excelente plataforma para las herramientas de gestión medioambiental tales como la evaluación del ciclo de vida y el diseño medioambiental.

En España el concepto de *Lean Construction* en España es prácticamente desconocido (Alarcón & Pellicer, 2009). Sin embargo, cabe destacar la aportación de Carlos Bosch (2003) donde analiza la aplicación de la filosofía y técnicas '*lean*' a la empresa Dragados. Su trabajo examina diferentes áreas donde la empresa adapta la construcción sin pérdidas como modo de producción sistemático: la tecnificación de los puestos de trabajo en obra, la participación desde abajo, la planificación desde el programa maestro al programa diario, el trabajo en equipo, la mejora incentivada mediante equipos multidisciplinares, el reconocimiento de la gerencia y la responsabilidad compartida del flujo informativo en toda la cadena de mando. El autor demuestra su aplicación práctica en la empresa mediante un caso real de gran éxito: la fabricación, transporte y colocación del nuevo dique del puerto de Mónaco.

Según la opinión de los autores, para las grandes empresas constructoras la adaptación de los sistemas de planificación de las obras al enfoque '*lean*' no supondría un esfuerzo excesivo, dado que la mayoría de ellas ya disponen de sistemas de planificación internos. El ejemplo de Dragados (Bosch, 2003) podría servir como guía. La implementación del último planificador supondría una mayor sistematización de las operaciones a todos los niveles, así como la implicación de toda la cadena de mando (desde el capataz hasta el director de departamento) en la planificación continua de las actividades productivas de la empresa (Alarcón & Pellicer, 2009).

5.7.2. RELACIÓN ENTRE LEAN CONSTRUCTION Y LA SOSTENIBILIDAD Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN OFF-SITE

Los métodos de construcción actuales están lejos de producir auténticas edificaciones sostenibles, sin embargo, es posible acercarse a la meta. Una de las estrategias de progresión hacia la sostenibilidad es *Lean Construction*, la cual se centra en la eliminación de los residuos procedentes de los procesos de construcción para que sean más eficientes (Nahmens & Ikuma, 2012).

La aplicación de los principios *Lean* puede ser muy eficiente implementada en plantas de Prefabricación por ofrecer diferentes niveles de personalización del

producto (por ejemplo, los constructores produciendo viviendas altamente personalizadas y produciendo viviendas estándar con un set de opciones predeterminado) (Nahmens & Mullens, 2009).

Las viviendas se producen como volúmenes listos para vivir en ellos (con acabado integrado, instalaciones eléctricas, etc.) que son transportados a obra y montados dando lugar a una vivienda completa. Este es, sin duda, un proceso orientado a la factoría de producción, y las empresas que utilizan este enfoque también han presentado un incremento del control de la cadena de valor de la construcción, una reducción de la variabilidad del flujo de trabajo debido a las operaciones repetitivas, y una organización laboral estable y permanente (Höök, 2005).

Diversas compañías de prefabricados en Suecia han tratado de aplicar la gestión *Lean* enfocadas a mejorar la efectividad y eficiencia de los procesos, un elemento clave que está en mejora continua (Jansson, 2010; Meiling *et al.*, 2010; Söderholm, 2010).

'The U.S. Environmental Protection Agency' (EPA, 2003) concluyó que la implementación de estrategias *Lean* producen una atmósfera muy propicia a la minimización de residuos y prevención de la contaminación, lo que aborda la dimensión ambiental de la sostenibilidad. Por otro lado, los defensores de *Lean* sostienen la hipótesis de que este concepto puede ejercer un efecto positivo sobre la seguridad (Saurin *et al.*, 2006; Mitropoulos *et al.*, 2007), lo que aborda la dimensión social de la sostenibilidad durante la fase de construcción. Para consolidar los efectos de *Lean* en la dimensión social, *Lean Construction* y diseños de seguridad en el trabajo pueden integrarse en un enfoque hacia la sostenibilidad que se centrará en la reducción de residuos, la mejora de la eficiencia y la productividad, así como de las condiciones de trabajo, cumpliendo así con las tres dimensiones de la sostenibilidad al mismo tiempo (Nahmens & Ikuma, 2012).

La implementación de *Lean Construction* ofrece a la industria de la construcción un enfoque para mejorar la sostenibilidad mediante la optimización en la utilización de los recursos y la seguridad durante las actividades de construcción y a través de la minimización de residuos utilizando procedimientos estándar (Nahmens & Ikuma, 2012).

Los métodos de producción de las viviendas modulares poseen un nivel de sostenibilidad más alto que las realizadas in situ (Nahmens & Ikuma, 2012). Así las casas modulares producen menos residuos debido al reducido tiempo de construcción y de puesta en obra, lo que supone menos daño del entorno (Wortman, 2007). Pulaski (2005) identificó la construcción *off-site* en general como un enfoque para reducir los residuos mediante la simplificación del proceso constructivo y favoreciendo la sostenibilidad. Además, las directrices de edificación ecológica de National Association of Homebuilders (NAHB, 2006) incluye en su sistema de evaluación, el uso de componentes prefabricados como un enfoque para reducir la cantidad de materiales y residuos (la utilización de la construcción modular para la vivienda completa está clasificada como la categoría más alta). Además, la utilización de materiales que no requieren de recursos adicionales o montaje in-situ optimiza la eficiencia de la plante de manufacturación y ofrece protección frente a las

condiciones meteorológicas adversas (reducción del impacto en la obra mediante la reducción de tiempo y recursos) (NAHB, 2006).

Philipson (2001) argumentó que la construcción prefabricada, como las viviendas modulares, tiene un efecto positivo en cinco de los seis indicadores de la sostenibilidad identificados por Movement for Innovation en Reino Unido (2001): uso de la energía operacional, índice de energía incorporada, los residuos, el agua y las especies por hectárea. La energía de transporte de los módulos prefabricados puede ser el único indicador negativo. El transporte de módulos prefabricados a la obra es menos eficiente que enviar palés de componentes (Philipson, 2001). En consecuencia, el nivel de beneficios ambientales dependerá del tipo de método de Prefabricación de la vivienda, es decir, dependerá de si trata de una vivienda modular o a base de componentes prefabricados. Uno de los importantes factores asociados a con los módulos prefabricados es el potencial que presenta en la reducción de residuos procedentes de la construcción, tanto en planta como en obra. Si los procesos constructivos están debidamente diseñados, los módulos prefabricados tienen el potencial de reducir los residuos y favorecer la sostenibilidad de la edificación. Además, el utilizar una ubicación central de gran volumen y un transporte consolidado hace que estos materiales no sólo sean más rentables, sino que los constructores también pueden ejercer un mejor control sobre ellos y sobre los residuos originados (Nahmens & Ikuma, 2012).

Nahmens & Ikuma (2012) dirigen un estudio que documenta la implementación de los principios *Lean* a una planta de viviendas modulares y muestra cómo este hecho puede mejorar las tres dimensiones de la sostenibilidad a través de una herramienta, kaizen. Esta herramienta es un enfoque intensivo y centrado en mejorar el proceso y la cual, busca la optimización eliminando actividades que carecen de valor desde la perspectiva del cliente. Este tipo de actividad está basada en el equipo y en la participación de los empleados desde distintos niveles de organización. La presentación de un kaizen como evento ayuda a eliminar las pérdidas a través de una mayor involucración de los empleados con la responsabilidad, tiempo y herramientas para descubrir áreas a mejorar y para apoyar el cambio (Nahmens & Ikuma, 2012).

En esta investigación se expone que las estrategias de *Lean Construction* o '*construcción sin pérdidas*' proporcionan una excelente plataforma para mejorar las dimensiones de la edificación sostenible: la social, la económica y la ambiental, mejorando los procesos de distribución o entrega de las viviendas modulares sostenibles. Mediante este documento se demuestra que la mejora de la productividad puede lograrse combinando los conceptos *Lean Construction* y la construcción modular. En este estudio la base de la investigación propuesta es un modelo conceptual que utiliza el conocimiento existente perteneciente a los campos de lean, seguridad, sostenibilidad, y sus posibles interacciones. El efecto clave de utilizar los métodos de construcción *Lean* sobre la sostenibilidad en edificación se muestra mediante un gráfico. Luego, los principios *Lean* pueden afectar a los tres componentes de la sostenibilidad (social, económico y ambiental) porque comparten la meta final de eliminar las pérdidas (ver fig. 28). Si describimos estos tres componentes (Nahmens & Ikuma, 2012):

- Social: es la Seguridad y Salud de los trabajadores.
- Ambiental: los residuos y emisiones contaminantes originados en el proceso.
- Económico: la compra de material, las instalaciones, el mantenimiento, repuestos, eliminación de los desechos en el final del ciclo de vida de la vivienda modular.

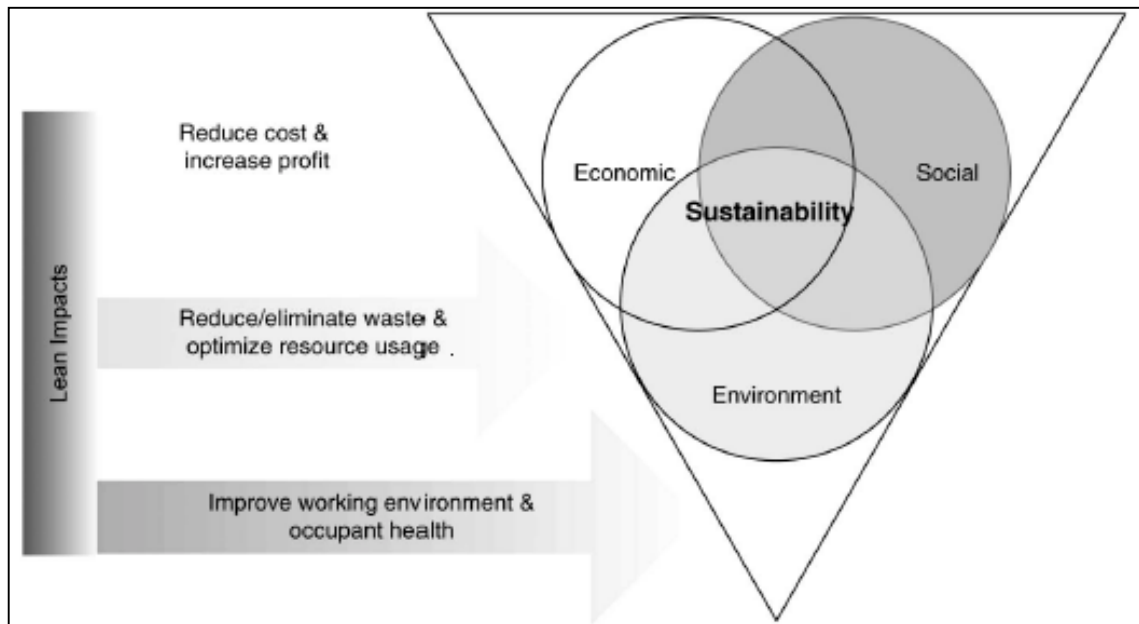


Figura 28. Modelo conceptual:Efecto de Lean en la sostenibilidad.
Fuente: (Nahmens & Ikuma, 2012).

Como conclusión del estudio, se obtuvo que los principios *Lean* pueden aplicarse a un tipo de Prefabricación como es la modular para mejorar sus características sostenibles (Nahmens & Ikuma, 2012).

El estudio realizado por los suecos Höök & Stehn (2008), trata de evaluar la aplicación de los principios *Lean* a la Industrialización de la vivienda. Como conclusión se argumenta que los principios *Lean* pueden aplicarse a cualquier tipo de empresa aunque su aplicación en la construcción ha tenido ciertos inconvenientes en comparación a la industria de la manufacturación, como la variabilidad y la mentalidad de los diferentes actores en la construcción. Los elementos en una cultura de procesos *lean*, tales como el control sobre el valor de la cadena de construcción, una organización de trabajo estable y permanente, repetición en las operaciones y trabajadores flexibles quienes asumen su propia responsabilidad, pueden encontrarse en la producción de viviendas industrializadas.

(Höök & Stehn, 2008) Sin embargo, la producción de la vivienda industrializada todavía confía en la cultura tradicional de los proyectos de construcción. Esto enfatiza la importancia y la dificultad de cambiar a una cultura *Lean* de construcción. El desarrollo y los cambios orientados a esta nueva cultura requieren:

- Incrementar la motivación y responsabilidad del trabajador en cuanto al flujo, calidad y mejora continua, mediante un liderazgo que guíe y motive a los trabajadores
- Estandarización del trabajo. Organización del área de trabajo y mantenimiento de la misma así como del equipamiento, para obtener flujo en la producción, calidad y mejoras medibles y una mejorada motivación de los trabajadores.

En consecuencia, los trabajadores de viviendas industrializadas deben ser capaces de probar nuevos métodos de trabajo (*lean*) porque podrán reevaluar si los métodos específicos de trabajo son lo suficientemente considerados como válidos. Por lo tanto, un cambio en la cultura para implementar los principios *Lean* en la Industrialización de viviendas requiere el entendimiento desde una organización superior de la importancia de estrategias claras y el poder de cambio de los trabajadores (Höök & Stehn, 2008).

Como nota final, indicar que *Off-site* construction es bastante conveniente para la aplicación de los principios lean, los cuales requieren altos niveles de repetición y control de los procesos (Lessing *et al.*, 2005; Björnfot, 2006; Meiling & Johnsson, 2008), y por lo tanto, tiene un mayor alcance para la mejora de la productividad, satisfacción del cliente y beneficios (Roy *et al.*, 2005; Apleberger *et al.*, 2007).

6. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

En este último apartado se pretende realizar un análisis bibliométrico de los artículos utilizados para desarrollar esta Memoria.

Se ha utilizado el programa *Redes 2005* (Web oficial de la Universidad de Granada, 2012). Este programa ha sido desarrollado dentro del Proyecto Docente titulado "*Software Específico para Bibliometría, Evaluación de la Ciencia y Vigilancia Tecnológica*" por los Departamentos de Biblioteconomía y Documentación e Ingeniería Química de la Universidad de Granada.

Redes versión 2005 es un programa que permite construir redes tecnocientíficas a partir del contenido de los documentos textuales que escriben los científicos y los tecnólogos. Estos documentos pueden ser de cualquier tipo: artículos científicos, comunicaciones a congresos, patentes de invención, tesis doctorales, informes, proyectos, etcétera.

Sus algoritmos están basados en el Análisis de Palabras Asociadas, que por sus características especiales, son capaces de identificar los denominados centros de interés de las redes. Además permite, gracias a la conocida flexibilidad de las palabras asociadas, realizar estudios que van desde grandes dominios científicos (nivel macro), pasando por estudios de universidades, laboratorios, revistas (nivel meso), hasta incluso el perfil investigador de científicos individuales (nivel micro) o incluso, el análisis de tan sólo un documento aislado (nivel nano).

Así pues, se ha realizado un análisis básico utilizando las palabras claves de los artículos seleccionados, los cuales se han dividido en dos grandes bloques: uno con los artículos pertenecientes al capítulo cuarto sobre PtD y el otro, con los utilizados en el capítulo quinto de esta Memoria, acerca de la Industrialización y Prefabricación. Posteriormente, se han unido para analizar las relaciones y conexiones existentes entre todos ellos.

6.1. PASOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

Se ha construido una base de datos todos los artículos estudiados. Los campos definidos en dicha base de datos han sido:

- Título
- Autores
- Palabras claves
- Año de publicación

Tras definir el formato requerido por el programa *Redes 2005* a los ficheros de palabras claves, se ha realizado un análisis y depuración de los términos utilizados. De esta forma se han unificado términos: por ejemplo: *European Union* por *Europe* o *Safety and Health* por *Health and Safety*.

La finalidad de dicha búsqueda es encontrar términos que se repitan más de tres veces (*Ocurrencia mínima*). La red de relaciones entre palabras claves, debía tener

un mínimo de 3 términos y un máximo de 10. Por ello, han sido definidos los siguientes parámetros en el programa:

- OCURRENCIA MÍNIMA: 3.
- CO-OCURRENCIA¹² MÍNIMA: 1.
- TAMAÑO DEL GRUPO: mínimo 3 y máximo 10.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el análisis realizado:

❖ ARTÍCULOS PERTENECIENTES AL CAPÍTULO 4: PREVENCIÓN A TRAVÉS DEL DISEÑO.

Las características que presenta la red construida (ver fig. 29) para estos términos, son las siguientes:

- IDENTIFICACIÓN DE NODOS (número de palabras claves): 67.
- NODOS QUE SUPERAN EL UMBRAL: 11.
- NODOS DESCARTADOS: 56.

En la tabla 6, se puede comprobar que los términos más repetidos son *Design* y *Safety*.

Rango	Nodo	Ocu.
1	Design	13
2	Safety	12
3	Construction	8
4	Construction-Management	4
5	Prevention	4
8	Innovation	3
6	Construction-Safety	3
7	Injuries	3
9	Occupational-Safety	3
10	Prevention-Through-Design	3

Tabla 6. Ocurrencia de los 10 principales nodos.

Fuente: Elaboración propia.

¹² Dos palabras co-ocurren cuando aparecen simultáneamente en el mismo documento.

De este modo, la figura 29 muestra gráficamente la red de nodos y relaciones creada:

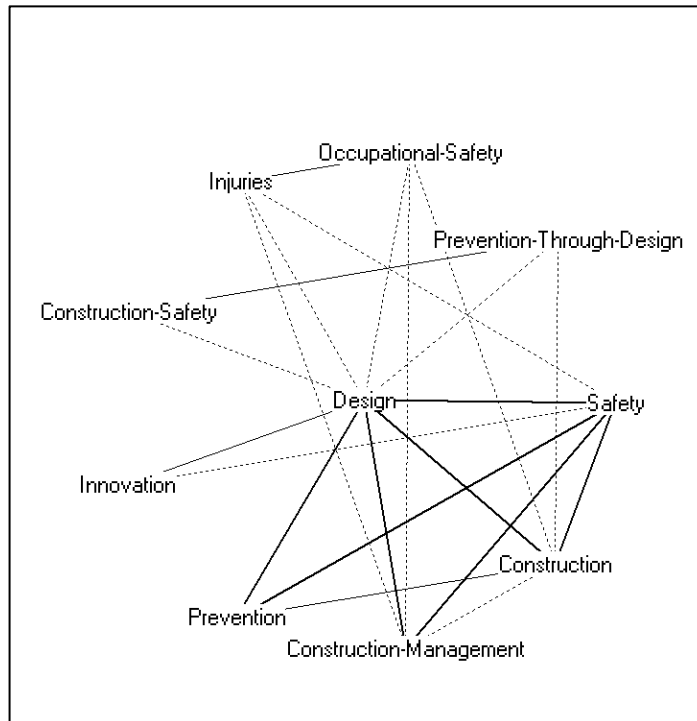


Figura 29. Red de nodos de los artículos pertenecientes al Capítulo 4 de Prevención a través del Diseño (PtD).

Fuente: Elaboración propia.

En este primer análisis se pueden deducir claramente las principales relaciones existentes entre las palabras clave. Existe una amplia relación entre los términos *Design*, *Safety*, *Prevention* y *Construction*, siendo los términos más relacionados **Design** y **Safety**.

El término central es **Design**, que es el más ocurrente. En la Matriz de Adyacencia¹³ (ver tabla 7) se puede comprobar que en siete ocasiones aparece enlazado al término **Safety**.

¹³ Muestra los valores absolutos de co-ocurrencias de los nodos en los documentos. Cuando se está en proceso de construcción de la red, en pantalla se muestra directamente el proceso de cálculo.

	1 Design	2 Safety	3 Construct	4 Construct	5 Preventio
1 Design	12	7	4	3	3
2 Safety		12	4	3	3
3 Construct			7	1	2
4 Construct				4	
5 Preventio					4

Tabla 7. Matriz de Adyacencia de términos de la parte correspondiente al capítulo 4 de Prevención a través del Diseño (PtD).

Fuente: Elaboración propia.

❖ ARTÍCULOS PERTENECIENTES AL CAPÍTULO 5: PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN.

En este apartado el abanico de términos es mayor y, así queda demostrado en las características que presenta la red:

- IDENTIFICACIÓN DE NODOS (número de palabras claves): 108.
- NODOS QUE SUPERAN EL UMBRAL: 11.
- NODOS DESCARTADOS: 97.

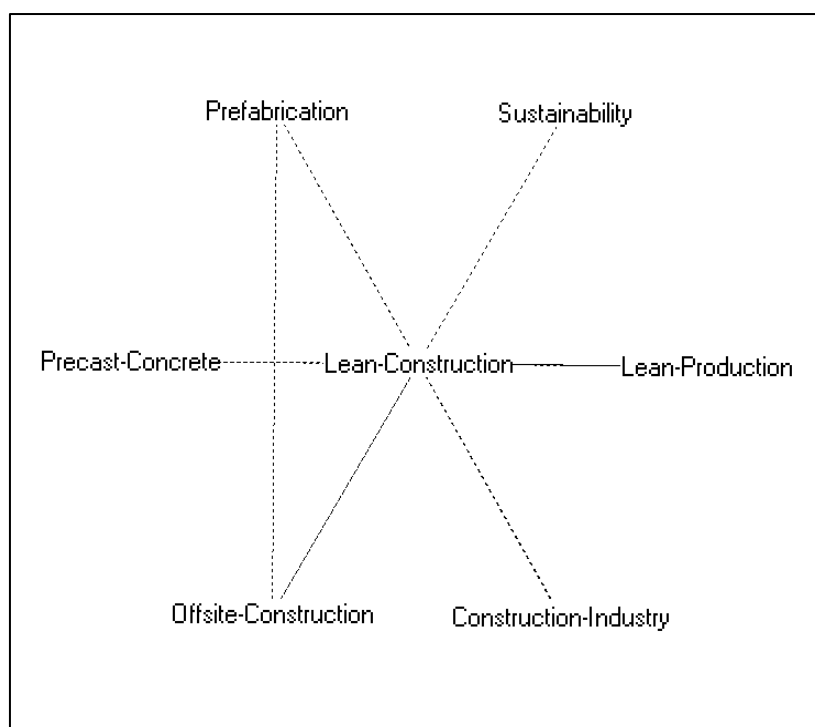


Figura 30. Red de nodos de los artículos del capítulo cinco, correspondiente a la Prefabricación e Industrialización.

Fuente: Elaboración propia.

En este apartado es destacable que existe poca repetitividad de términos utilizados como palabras claves, tal como se muestra en la tabla 8.

	1 Industriali-	2 Construct	3 Prefabrica-	4 Sustainab	5 Lean-Con	6 Lean-Pro	7 Construct	8 Construct	9 Industriali-	10 Offsite-C	11 Precast-
1 Industriali-	8	2	1	3							1
2 Construct		4	1								
3 Prefabrica-			4		1			1		1	
4 Sustainab				5	1		1		1	1	
5 Lean-Con					4	2		1		1	1
6 Lean-Pro						4					1
7 Construct							3		1		
8 Construct								3			
9 Industriali-									3		1
10 Offsite-C										3	
11 Precast-											3

Tabla 8. Matriz de Adyacencia de términos de la parte correspondiente al capítulo 5 de Prefabricación e Industrialización.

Fuente: Elaboración propia.

❖ RELACIÓN ENTRE LOS ARTÍCULOS PERTENECIENTES A LA PtD JUNTO A LOS DE PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN

Por último, se construye la red de conexiones entre las palabras claves relacionados con los artículos de Prevención en el Diseño y de Prefabricación e Industrialización. La definición de los nodos creado por el software es el siguiente: a dicha relación

- IDENTIFICACIÓN DE NODOS (número de palabras claves): 166.
- NODOS QUE SUPERAN EL UMBRAL: 22.
- NODOS DESCARTADOS: 144.

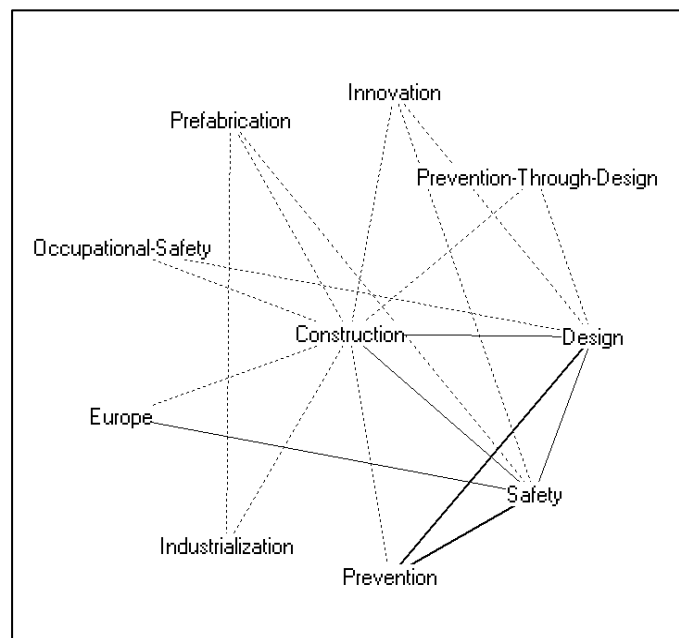


Figura 31. Red de nodos procedente de la relación de los dos conceptos objeto de este estudio, la Prevención a través del Diseño y la Prefabricación e Industrialización.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 31 podemos comprobar que los términos *Prefabrication* e *Industrialization* no se relaciona con *Prevention through Design*.

Si existe una relación entre *Prefabrication* y *Safety*. En la Matriz de Adyacencia se comprueba que esta relación se debe a un único artículo del año 2009 titulado *Modular Assembly with Postponement to Improve Health, Safety, and Productivity in Construction* (Court et al., 2009)

6.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como resultado de este análisis inicial, se ha obtenido que las palabras clave pertenecientes a los artículos relacionados con Prevención a través del Diseño y los relativos a la Prefabricación e Industrialización, no guardan demasiada conexión entre sí. Esto nos hace concluir que las investigaciones tratan la Prefabricación e Industrialización desde puntos de vista diferentes a la prevención de accidentes laborales como, por ejemplo, la sostenibilidad.

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. CONCLUSIONES

Entre los objetivos de la la Directiva Directiva 92/57/CEE se encuentra la integración de la prevención en la fase de diseño como método de la disminución de la siniestralidad laboral en el sector de la construcción. Dicho bojetivo no se ha materializado en la mayoría de los países de la UE en los que el impacto de las transposiciones de la Directiva ha sido extremadamente variado.

Los estudios e investigaciones existentes confirman que las iniciativas de PtD llevadas a cabo por diseñadores de proyecto, técnicos y agentes que participan en la construcción deben realizarse con el fin de favorecer la producción y la prevención. Esto requiere un alto nivel de competencia profesional y especialización en lo que respecta a la planificación, programación y organización de los trabajos de construcción. Estas acciones preventivas deberían no sólo estar en consonancia con la legislación vigente, sino también superar el umbral mínimo establecido en las regulaciones y así reflejar un alto sentido de responsabilidad profesional o preocupación activa para la prevención de accidentes laborales en todos los niveles.

Por otro lado, debido a las ventajas que presenta la Prefabricación y la Industrialización del sector de la construcción (Construcción *off-site*), podemos afirmar que ésta, enmarcada en un enfoque *Lean construction* y sostenible es un instrumento adecuado para la implementación de la PtD (ver fig. 32).

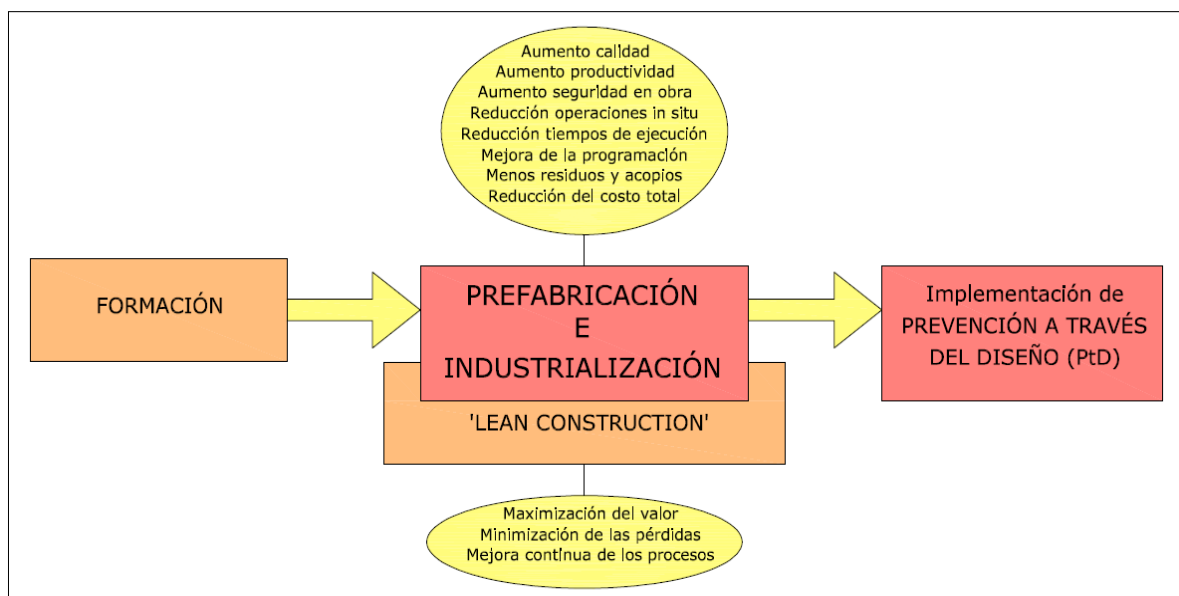


Figura 32. Implementación de la Prevención a través del Diseño (PtD) mediante la educación y empleo de la Prefabricación enmarcada en los principios *Lean*.

Fuente: Elaboración propia.

La Prefabricación supone un mejor control de los procesos, lo que permite una mejor organización y planificación en la fase de diseño de un proyecto. Todo ello permite la identificación de los riesgos y su estudio para conseguir su eliminación o reducción, de modo que se produce una mejora de la Seguridad y Salud de los trabajadores y de la obra.

Otro aspecto importante de la Construcción *off-site* es que aumentan los sistemas de construcción en seco, lo que acelera el proceso constructivo, disminuyendo riesgos de exposición a entornos peligrosos y materiales de riesgo. Si además, estos beneficios que presenta la Prefabricación quedan enmarcados en un enfoque de mejora continua, donde se maximiza el valor y se minimizan las pérdidas o, dicho de otro modo, en un enfoque *Lean*, al producirse así una mejora de la Seguridad y Salud en el entorno de trabajo, se favorecerá la toma de decisiones preventivas en el diseño.

En España, es necesario que se produzca una evolución de la construcción hacia sistemas de Prefabricación e Industrialización, lo que paralelamente implicará la implantación PtD.

Además, dado que la Prefabricación e Industrialización presentan una reducción del coste total, se piensa que el momento de crisis actual del sector de la construcción es el contexto idóneo para reinventar los procesos constructivos y redirigir el sector de la edificación hacia métodos más productivos y que procuren una Seguridad y Salud adecuada.

Pero también, para poder promocionar la Prefabricación en el sector de la Construcción y, por tanto, la Prevención a través del Diseño, es muy importante replantear la FORMACIÓN de las partes intervinientes en el proceso constructivo.

La formación relacionada a la construcción prefabricada e industrializada y a la PtD, debería dirigirse tanto a los promotores Y proyectistas, como a constructores y coordinadores de seguridad. Y puesto que el promotor designa el equipo de trabajo, es él que tendría que sustentar la mayor responsabilidad en cuanto a adoptar soluciones preventivas en la fase de redacción de los proyectos, como un responsable más de la Seguridad y Salud de las obras y de los trabajadores de la construcción. Además, debido a que los Métodos Modernos de Construcción (MMC) requieren de mano de obra especializada, también los trabajadores estarían, en ese caso, instruidos ampliamente en temas de seguridad, lo cual es de gran ayuda a la hora de respetar las decisiones en seguridad tomadas en la fase de proyecto.

Por último, en cuanto a los resultados obtenidos en el análisis bibliométrico llevado a cabo con el programa REDES 2005, ya que no se ha generado una conexión directa de los conceptos estudiados en dicho análisis (Prevención mediante el Diseño y Prefabricación e Industrialización), se concluye que, en la práctica, no se tiende a considerar la utilización de la construcción *off-site* como un medio específico de difusión de la Prevención a través del Diseño (PtD). Lo cual podría estudiarse en futuras líneas de investigación.

7.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- ❖ A la vista de los resultados obtenidos mediante el análisis bibliométrico del programa REDES 2005, se propone llevar a cabo un panel de expertos, donde se investigue el uso de la Prefabricación e Industrialización en España, para averiguar si el empleo de elementos prefabricados e industrializados se hace desde el punto de vista de la prevención o de otros factores, como por ejemplo, el coste total.
- ❖ Estudiar la aplicación de la Prefabricación y la Prevención mediante el diseño (PtD) a las obras de restauración y rehabilitación, que tan en auge están en la actualidad.

8. REFERENCIAS

- Abreu Saurin, T. & Buarque, L., 2006. Ergonomic assessment o suspended scaffolds. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36, 229–237.
- A.C.I., 1991. American Concrete Institute, Manual Concrete Practice. Detroit.
- Adam, J. M., Pallarés, F. J., Calderón, P. A., & Payá, I. J., 2007. A study of the conditions of use of a new safety system for the building industry. *Engineering Structures*, 29(8), 1690–1697.
- Adam, J. M., Pallarés, F. J., & Calderón, P. A., 2009. Falls from height during the floor slab formwork of buildings: Current situation in Spain. *Journal of Safety Research*, 40(4), 293-299.
- Aguiló Alonso, M. *et al.*, 1974. Prefabricación: Teoría y práctica. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1974.
- Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E., 2009. Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas. *Revista De Obras Públicas: Organo Profesional De Los Ingenieros De Caminos, Canales y Puertos*, (3496), 45-52.
- Alves, L. M., 1999. Construction safety coordination in Portugal. *Proceedings, International Conference on Construction Safety Coordination in the European Union, CIB Publication 238, CIBWorking Commission W99*. Lisbon, Portugal.
- Apleberger, L., Jonsson, R. & Ahman, P., 2007. Byggandets industrialisering – nulä gesbeskrivning (Industrialised Construction – Current State). Sveriges Byggindustrier, Gothenburg.
- Arévalo Sarrate, C., 2012. La integración de la prevención en el proyecto de obras de construcción: Una obligación legal y técnica para mejorar la gestión de la prevención en el sector. Disponible en: <http://www.edirectivos.com/uploaded_documents/0000/1538/1538.pdf>. Acceso 7-7-2012.
- Arezes, P. M., & Swuste, P., 2011. Occupational health and safety post-graduation courses in Europe: A general overview. *Safety Science*, 50 (3), pp. 433-442.
- Arif, M., Bendi, D., Sawhney, A., & Iyer, K. C., 2012. State of off-site construction in india-drivers and barriers. *Journal of Physics: Conference Series*, 364(1).
- Arif, M. & Egbu, C., 2012. *Making a Case for Offsite Construction in China*. Engineering Construction and Architectural Management, 2010. 17(6).
- Arif, M., Goulding, J., & Rahimian, F. P., 2012. Promoting off-site construction: Future challenges and opportunities. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 75-78.
- ARKITENIA, 2012. Web oficial de ARKITENIA. Disponible en: <<http://arkinetia.com/>>. Acceso 21-8-2012

- ASSE, 2012. Asociación Americana de seguridad de ingenieros. Disponible en: <<http://www.asse.org/>>. Acceso 4-8-2012.
- Badir, Y., Kadir, M.R.A. & Hashim, A.H., 2002. Industrialized Building Systems Construction in Malaysia. *Journal of Architecture Engineering*, 8(1) 119-23.
- Badri, A., Gbodossou, A., & Nadeau, S., 2012. Occupational health and safety risks: Towards the integration into project management. *Safety Science*, 50(2), 190-198.
- Ballard, H. & Howell, G., 1998. Shielding production: an essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(1), 11-17.
- Barrett, P., 2007. Revaluing construction: A holistic model. *Building Research and Information*, 35(3), 268-286.
- Behm, M., 2005. Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Safety Science*, 43, 589-611.
- Behm, M., 2008. Construction Sector. *Journal of Safety Research*, 39(2), 175-178.
- Björnfot, A., 2006. An exploration of lean thinking for multistorey timber housing construction: contemporary Swedish practices and future opportunities, doctoral thesis, Division of Structural Engineering – Timber Structures, Lulea° University of Technology, Lulea.
- Blismas, N., Pasquire, C., & Gibb, A., 2006. Benefit evaluation for off-site production in construction. *Construction Management and Economics*, 24(2), 121-130.
- BoKLoK. IKEA, 2012. Disponible en: <www.boklok.com>. Acceso 9-8-2012.
- Bosch, C., 2003. Lean construction experience in Dragados. *5th Annual Lean Construction*.
- Brace, C., Gibb, A., Pendlebury, M., & Bust, P., 2009. *Health and safety in the construction industry: Underlying causes of construction fatal accidents – External research*. Disponible en: <<http://www.hse.gov.uk/construction/phase2ext.pdf>>. Acceso 1-7-2012.
- BRE, 2012. Building Research Establishment. Disponible en: <<http://www.bre.co.uk/innovationpark/>>. Acceso 2-8-2012.
- BRUCE, B. & MCGRATH, P., 2005. Group interventions for the prevention injuries in young children: a systematic review. *Injury Prevention*, (11), 143-147.
- Calavera, J. & Fernández, J., 1999. Prefabricación de edificios y naves industriales, *Monografías INTEMAC*, nº 4, Madrid.
- Camino López, M. A., Ritzel, D. O., Fontaneda, I., & González Alcantara, O. J., 2008. Construction industry accidents in Spain. *Journal of Safety Research*, 39(5), 497-507.
- Casas pret-à-porter , 2012. Web de casas pret-à-porter. Disponible en: <<http://casespretaporter.blogspot.com.es/>>. Acceso 22-8-2012.

CBI., 1990. *Developing a Safety Culture — Business for Safety*. London: Confederation of British Industry.

Ceballos-Lascuráin, H., 1973. *La Prefabricación y la vivienda en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Arquitectónicas, 1973.*

CETICA, 2012. Disponible en: <http://ct.ctic.es/web/contenidos/es/proyectos/proyecto_0032.html>. Acceso 4-8-2012.

Chi, C., Chang, T., Ting, H., 2005. Accident pattern and prevention measures for fatal occupational falls in the construction industry. *Applied Ergonomics* 36, 391–400.

C.I.B. Comisión W.29, 1987. *Tolerancias sobre defectos en el aspecto del hormigón”, Informe CIB, nº 24*, Instituto Noruego de la Construcción, Oslo.

Congress. Disponible en: <<http://www.leanconstruction.org>>. Acceso 2-8-2012.

Cooper, M. D., 2000. Toward a model of Safety Culture. *Safety Science*, 36, 111–136.

Collins, P., Concrete, 2004. *The Vision of a New Architecture. McGill-Queen’s University Press, Montreal, 2004.*

Court, P. F., Pasquire, C. L., Gibb, G. F., & Bower, D., 2009. Modular assembly with postponement to improve health, safety, and productivity in construction. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14(2), 81-89.

Cox, S., & Cox, T., 1991. The structure of employee attitudes to safety: An European example. *Work and Stress*, 12, 189–201.

Cuatrecasas, 2008. *Responsabilidades en materia de seguridad y salud laboral. Propuestas de refoma a la luz de la experiencia comparada*. Madrid: La Ley.

Del Águila, A., Gómez, I., Borsetti, M., Hernando, S., & Fernández, C., 2009. The highest buildings made of precast load panels in Spain. [Los edificios de paneles más altos de España] *Informes De La Construcción*, 61(513), 59-72.

Dentz, J., & Blanford, M., 2007. Lean factories cut costs, boost production , *Automated Builder*, July 2007.

Dennis, P., 2002. *Lean production simplified: A plain language guide to the world’s most powerful production system*, Productivity, New York.

Design for Construction Safety, 2012. Web oficial. Disponible en: <<http://www.designforconstructionsafety.org/concept.shtml>>. Acceso 7-7-2012.

Dewlaney, K. S., & Hallowell, M., 2012. Prevention through Design and construction safety management strategies for high performance sustainable building construction. *Construction Management and Economics*, 30(2), 165-177.

Directiva 89/391/CEE, 1989. Relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo. Official Journal of the European Union, 1989.

Directiva 92/57/CEE, 1992. Relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles (octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). Official Journal of the European Union, 1992.

Eastman, C.M. & Sacks, R., 2008. Relative productivity in the AEC industries in the United States for on-site and off-site activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(7), 517–26.

Estrategia Nacional de Australia SST 2002-2012, 2012. Por la que se establece "la eliminación de los riesgos en la etapa de diseño". Disponible en: <<http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/SWA/AboutSafeWorkAustralia/WhatWeDo/Publications/Pages/Model-WHS-Regulations.aspx>>. Acceso 5-7-2012.

Euro-lex, 2002. Web oficial de acceso al derecho de la Unión Europea. European benchmarks in education and training: follow-up to the Lisbon European Council. Disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52002DC0629:EN:HTML>> Acceso 8-8-2012.

Edum-Fotwe, F. T., Gibb, A. G. F., & Benford-Miller, M., 2004. Reconciling construction innovation and standardisation on major projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11(5), 366-372.

EPA, 2003. *U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Lean manufacturing and environment*. Disponible en: <<http://www.epa.gov/lean/environment>>. Acceso 2-8-2012.

Egan, J., 1998. *Rethinking Construction: The Report of the Construction Task Force, Department of the Environments, Transport and the Regions, London*.

Escrig Pérez, C., 2010. Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón. *Universidad politécnica de Cataluña*. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu>>. Acceso 30-6-2012.

Esteban Gabriel, Jesús. Tesis Doctoral. "*Estudio sobre la integración de la prevención en la fase de redacción de los proyectos*" (Universidad Politécnica de Madrid). 2011.

European Agency for Safety and Health at Work (OSHA), 2004. Achieving better safety and health in construction. (2004), pp.144.

Eurostat, 2006. Web oficial de Eurostat. Employed in service sector and occupational status of recent schoolleavers. Disponible en: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. Acceso 3-7-2012.

Eurostat, 2008. European statistics on accidents at work (ESAW) and commuting accidents. Eurostat Metadata in SDDS Format: Summary Methodology. Disponible

en:<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_SDDS/EN/hsw_acc_work_sm1.htm> Acceso 4-7-2012.

Eurostat, 2012. Web oficial de Estadísticas Europeas. Índice de incidencia de los accidentes de trabajo en la construcción en la UE15. Disponible en:<
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tps00042&language=en>>. Acceso 4-7-2012.

European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 1991. From drawing board to building site : working conditions, quality, economic performance. London: HMSO Book.

Fernández Lillo, C., 2008. Estudio comparativo entre distintas metodologías de Industrialización de la construcción de viviendas. Tesina de especialización. *Departamento de Ingeniería de la Construcción (UPC)*. Barcelona, Junio 2008.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J. M., & Vázquez-Ordás, C. J., 2007. Safety culture: Analysis of the causal relationships between its key dimensions. *Journal of Safety Research*, 38(6), 627-641.

FIEC, 2012. Web oficial de la Federación Europea de Industria de la Construcción. Disponible en:< <http://www.fiec.org/Content/Default.asp?PageID=5>>. Acceso 3-9-2012.

FLC, 2012. Web oficial de la Fundación Laboral de la Construcción. Disponible en:<<http://www.trabajoenconstruccion.com/web/home.asp>>. Acceso 3-7-2012.

Floyd, H. L., & Liggett, D. P., 2008. The NIOSH "prevention through design" initiative applied to electrical hazards in construction. Copyright Material IEEE Paper No. PCIC, 2008.

Huang, X. & Hinze, J., 2003. Analysis of construction worker fall accidents. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE 129 (3), 262-271.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J. M., & Vázquez-Ordás, C. J., 2007. Safety culture: Analysis of the causal relationships between its key dimensions. *Journal of Safety Research*, 38(6), 627-641.

Fortunato III, B. R., Hallowell, M. R., Behm, M., & Dewlaney, K., 2012. Identification of safety risks for high-performance sustainable construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(4), 499-508.

Gambatese, J., Hinze, J., & Haas, C., 1997. Tool to Design for Construction Worker Safety. *Journal of Architectural Engineering*, 32-41.

Gambatese, J., 1998. Liability in designing for construction worker safety. *Journal of Architectural Engineering*, 4 (3), 107-112.

Gambatese, J., 2000. Safety in a Designer's Hands. *Civil Engineering*, 70 (6), 56-59.

Gambatese, J. A., 2003. "Safety emphasis in university engineering and construction programs." *Construction safety education and training—A global perspective*, International e-Journal of Construction, Univ. of Florida, Gainesville, FL.

Gambatese, J. A., Behm, M., & Hinze, J. W., 2005. Viability of designing for construction worker safety. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(9), 1029-1036.

Gambatese, J.; Hinze, J. & Behm, M., 2005. *Investigation of the Viability of Designing for Safety*. Silver Spring (EE.UU.): The Center to Project Workers' Rights (CPWR).

Gambatese, J. A., Behm, M., & Rajendran, S., 2008. Design's role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel. *Safety Science*, 46(4), 675-691.

Gambatese, J., Toole, M., & Giles, B., 2008. The Future of Design for Construction Safety. *18th Annual Construction Safety Conference*. Disponible en: <<http://www.osha.gov>>. Acceso 3-7-2012.

Gambatese, J. A., 2008. Research issues in prevention through design. *Journal of Safety Research*, 39(2), 153-156.

Gambatese, J. A., & Hallowell, M., 2011. Enabling and measuring innovation in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 29(6), 553-567.

Gambatese, J. A., & Hallowell, M., 2011. Factors that influence the development and diffusion of technical innovations in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 29(5), 507-517.

Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, N., Roca, X., & Fuertes, A., 2010. Mitigating construction safety risks using prevention through design. *Journal of Safety Research*, 41(2), 107-122.

García, A. B., 2010. ¿Cómo integrar la seguridad y salud en la educación? elementos clave para enseñar prevención en los centros escolares. *Profesorado. Revista De Currículum y Formación De Profesorado*, (2), 267-295.

Gibb, A.G., 1999. Offsite Fabrication: Pre-assembly, Prefabrication and Modularisation, *Whittles Publishing Services*, London.

Gibb, A.G.F., 2001. Pre-assembly in construction: a review of recent and current industry and research initiatives on pre-assembly in construction.

Gibb, A.G.F., 2001. Standardisation and pre-assembly – distinguishing myth from reality using case study research. *Construction Management and Economics*, 19(3), 307-315.

Gibb, A. & Isack, F. (2003). Re-engineering through pre-assembly: Client expectations and drivers. *Building Research & Information*, 31(2), 146-160.

Gibb, A., Haslam, R., Hise, S., & Gyi, D., 2004. The role of design in accident causality. In S. Hecker, J. Gambatese, & M. Weinstein, *Designing for Safety and Health in Construction* (pp. 11-21). Eugene. Oregon: University of Oregon Press.

Gibb, A., Haslam, R., Gyi, D., Hide, S. & Duff, R., 2006. What causes accidents? *Civil Engineering* 159, 46–50.

Gómez Jáuregui, V., 2009. Habidite: Viviendas modulares industrializadas. *Informes De La Construcción*, 61(513), 33-46.

Gómez Muñoz, D., 2008. Tutores: Aguado de Cea, A. y Fernández Lillo, C. "Estudio comparativo entre distintas metodologías de Industrialización de la construcción de viviendas". Tesina de especialización. Departamento de Ingeniería de la Construcción (UPC). Barcelona, Junio 2008.

Goodier, C.I. & Gibb, A.G.F., 2005. The offsite market in the UK: a new opportunity for precast?, in Borghoff, M., Gottschalg, A. and Mehl, R. (eds) *Proceedings of the 18th BIBM International Congress and Exhibition, RAI Congress Centre, Amsterdam*, 11–14 May, BFBN, Woerden, The Netherlands, pp. 34–5.

Goodier, C. & Gibb, A., 2007. Future opportunities for offsite in the UK. *Construction Management and Economics*, 25(6), 585-595.

Goulding, J., Rahimian, F. P., Arif, M. & Sharp, M., 2012. Offsite construction: Strategic priorities for shaping the future research agenda. *Architectoni.ca*, Canadian Centre of Academic Art and Science (CCAAS), 1 (1), 62-73. Disponible en: <<http://ccaasmag.org/>>. Acceso 5-7-2012.

HABITAT 2030, 2012. Disponible en: <<http://www.acciona-infraestructuras.es/sala-de-prensa/noticias/2011/proyecto-habitat-2030.aspx?page=3>>. Acceso 4-8-2012.

Habraken, N.J. *et al.*, 1979. Variations: The systematic design of supports. Samson Uitgeverij, Holanda, 1974. Traducción: El diseño de soportes. Gustavo Gili Reprints. Barcelona, 1979.

Habraken, N. J., 2005. Teicher J. Palladio's Children. *Taylor & Francis. London, UK*, 2005.

Hallowell, M. R., & Gambatese, J. A., 2009. Construction safety risk mitigation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1316-1323.

Hallowell, M., 2010. Cost-effectiveness of construction safety programme elements. *Construction Management and Economics*, 28(1), 25-34.

Hallowell, M. R. & Calhoun, M. E., 2011. Interrelationships among highly effective construction injury prevention strategies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(11), 985-993.

Hampson, K. D. & Brandon, P., 2004. Construction 2020-A vision for australia's property and construction industry CRC Construction Innovation.

- Haslam, R., Hide, S., Gibb, A., Gyi, D., Pavitt, T., Atkinson, S., et al., 2005. Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*, 36, 401-415.
- Hecker, S.; Gibbons, B. & Barsotti, A., 2001. Making ergonomic changes in construction: worksite training and task interventions. In A. D., & R. R., *Applied Ergonomics* (pp. 162-189). London: Taylor & Francis.
- Heinz, H. & Beat, H., 2003. Promoting safety a component in health promotion in primary and secondary schools. In *Injury Control and Safety Promotion* (10), 165-171.
- Hinze, J., & Wiegand, F., 1992. Role of designers in construction worker safety. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118 (4), 677-684.
- Hinze, J., Pedersen, C., & Fredley, J., 1998. Identifying root causes of construction injuries. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(1), 67-71.
- Höök, M., 2005. Timber volume element housing: production and market aspects. Licentiate thesis, LTU-LT- 2005:65L, Lulea University of Technology, Lulea.
- Höök, M., & Stehn, L., 2008. Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production. *Construction Management and Economics*, 26(10), 1091-1100.
- Housing Corporation, 2003. Re-inventing Investment, The Housing Corporation, London.
- Housing Forum, 2002. Homing in on Excellence—A Commentary on the Use of Off-site Fabrication Methods for the UK House Building Industry, *Housing Forum*, London.
- Howe, J., 2008. Policy issues in prevention through design. *Journal of Safety Research*, 39(2), 161-163.
- HSE, 2003. Causal Factors in Construction Accidents. Disponible en: <<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr156.pdf>>. Acceso 10-8-2012.
- HSE, 2009. Web oficial de Health and Safety Executive. Health and safety in the construction industry. Disponible en: <<http://www.hse.gov.uk/construction/index.htm>>. Acceso 4-7-2012.
- HSC, 1993. ACSNI Study Group on Human Factors. *3rd Report: Organising for Safety* London: Health and Safety Commission, HMSO.
- HSE, 2012. Health and Safety Executive. Disponible en <<http://www.hse.gov.uk/>>. Acceso 10-8-2012.
- Huang, X. & Hinze, J., 2003. Analysis of construction worker fall accidents. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(3), 262-271.
- IAEA. 1986. Summary Report on the Post Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Vienna: Author IAEA 75-INSAG-1.

IETcc-CSIC, 2008. Actas de las Jornadas. II Jornadas de Investigación en Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC. Madrid, 22-24 de mayo 2008.

INDAGSA, 2012. Web oficial de INDAGSA. Disponible en <http://www.indagsa.com/>. Acceso 14-8-2012.

INE, 2012. Web oficial del Instituto Nacional de Estadística. Estructura porcentual del PIB en España. Disponible en: <http://www.ine.es/>. Acceso 31-7-2012.

Informes de la Construcción. Vol. 60 nº 512, 2008. Pág.3-96 CSIC. Madrid. España.

INVISIO, 2012. Optimización de la producción de viviendas: Industrialización de Viviendas Sostenibles. Proyecto Singular y Estratégico. Ministerio de Educación y Ciencia. Disponible en: www.ietcc.csic.es/index.php?id=1501. Acceso 28-8-2012.

INSHT, 2011. VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Disponible en: <http://www.insht.es/portal/>. Acceso 17-7-2012.

INSHT, 2012. Observatorio estatal de condiciones de trabajo del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Disponible en: <http://www.insht.es/>. Acceso 30-7-2012.

Ismail, Z., Doostdar, S., & Harun, Z., 2012. Factors influencing the implementation of a safety management system for construction sites. *Safety Science*, 50(3), 418-423.

Janicak, C. A., 1998. Fall related Deaths in the Construction Industry. *Journal of Safety Research*, 29, 35–42.

Jannadi, M. O. & Assaf, S., 1998. Safety assessment in the built environment of Saudi Arabia. *Safety Science*, 29(1), 15–24.

Jannadi, O. A., & Bu-Khamsin, M. S., 2002. Safety factors considered by industrial contractors in Saudi Arabia. *Building and Environment*, 37(5), 539–547.

Jansson, G., 2010. Industrialised housing design efficiency, licentiate thesis, 1402-1757, Lulea University of Technology, Lulea.

Jeong, B. Y., 1998. Occupational deaths and injuries in the construction industry. *Applied Ergonomics*, 29(5), 355–360.

Kim, S., Nussbaum, M. A. & Jia, B., 2011. Low back injury risks during construction with prefabricated (panelised) walls: Effects of task and design factors. *Ergonomics*, 54(1), 60-71.

Kines, P., 2002. Construction workers' falls through roofs: Fatal versus serious injuries. *Journal of Safety Research*, 33(2), 195–208.

Koskela, L., 1992. Application of the new production philosophy to construction, *CIFE Technical Report #72*, Stanford Univ., Stanford, CA.

- Koskela, L., 1993. Lean production in construction. Proc., 10th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction (ISARC), *Elsevier*, Houston, 47–54.
- Koskela, L., 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction, D. Tech dissertation, *VVT Technical Research Centre of Finland*.
- Landis Floyd, II, H., 2010. Prevention through Design. NIOSH strategy advancements for electrical Safety Benefits. *IEEE INDUSTRY APPLICATIONS MAGAZINE*, may-june 2010, 16(3), 14-16. Disponible en: <WWW.IEEE.ORG/IAS>. Acceso 7-8-2012.
- Larsson, T. J. & Field, B., 2002. The distribution of occupational injury risk in the Victorian Construction industry. *Safety Science*, 40(5), 439–456.
- Lessing, J., Stehn, L. & Ekholm, A., 2005. Industrialised housing: sefinition and categorization of the concept, *Proceedings IGLC-13*, July 2005, Sydney, Australia.
- Ley 31/1995, 1995. *Ley Prevención de Riesgos Laborales*. Boletín Oficial del Estado, núm. 269 de 10 de noviembre de 1995.
- Lew, J. & Lentz, T. J., 2008. Strategic education initiatives to implement prevention through design (PtD) in construction. Disponible en: <<http://ascpro.ascweb.org>>. Acceso 3-7-2012.
- Lipscomb, H.J., Glazner, J.E., Bondy, J., Guarini, K. & Lezotte, D., 2006. Injuries from slips and trips in construction. *Applied Ergonomics* 37, 267–274.
- Macedo, A. C. & Silva, I. L., 2005. Analysis of occupational accidents in Portugal between 1992 and 2001. *Safety Science*, 43(5–6), 269–286.
- MacDonald, G., 2006. Risk perception and construction safety. *Civil Engineering*. 159, 51–56.
- Mann III, J. A., 2008. Education issues in prevention through design. *Journal of Safety Research*, 39(2), 165-170.
- ManuBuild, 2012. Web oficial de la agrupación manubuild. Disponible en: <<http://www.manubuild.org/>>. Acceso 4-9-2012.
- Manuele, F. A., 1997. On the Practice of Safety. *United States: John Wiley & Sons Inc.*
- Manuele, F. A., 2008. Prevention through design (PtD): History and future. *Journal of Safety Research*, 39(2), 127-130.
- Martínez Aires, M^a Dolores. Tesis doctoral. "Análisis de la Gestión de Prevención de Riesgos Laborales en el sector de la construcción en Europa. La Prevención a través del Diseño (ptd) en España y Reino Unido" (Universidad de Granada). 2009.
- Martínez Aires, M. D., Rubio Gámez, M. C., & Gibb, A., 2010. Prevention through design: The effect of european directives on construction workplace accidents. *Safety Science*, 48(2), 248-258.

Meiling, J. & Johnsson, H., 2008. Feedback in Industrialised housing – why does it not happen? *Proceedings of the 24th ARCOM Annual Conference*, September 1-3, Cardiff, Wales.

Meiling, J., Backlund, F. & Johnsson, H., 2012. Managing for continuous improvement in off-site construction: Evaluation of lean management principles. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(2), 141-158.

Ministerio de Fomento, 2012. Web oficial del ministerio de fomento. Estructura de la construcción. Disponible en: < <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/4C63C243-AC98-48B3-A843-DC79C13EF923/111850/EC2010.pdf>>. Acceso 3-7-2012.

Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2012-1. Informe de siniestralidad julio 2011 a junio 2012. Disponible en: < <http://www.oect.es/Observatorio/3%20Siniestralidad%20laboral%20en%20cifras/Otros%20informes%20de%20siniestralidad%20laboral/Informes%20interanuales%20anteriores/Informe%20siniestralidad%20julio%202011-junio%202012.pdf>>. Acceso 3-7-2012.

Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2012-2. *Anuario estadístico 2011*. Disponible en: < <http://www.empleo.gob.es/estadisticas/ANUARIO2011/>>. Acceso 3-7-2012.

Mitropoulos, P., Cupido, G. & Namcoodiri, M., 2007. Safety as an emergent property of the production system: How lean practices reduce the likelihood of accidents. *Proc., 15th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction (IGLC-15)*, C. Pasquire, and P. Tzortzopoulos, eds., Lean Construction Institute, Ketchum, ID.

MODULTEC, 2012. Web oficial de MODULTEC. Disponible en: <<http://www.modultec.es/>>. Acceso 22-8-2012.

Monjo, J., 2006. El papel de los Centros de Investigación. La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción (Seminario 1. Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad). *XVII Curso de Estudios Mayores de la Construcción (2006)*.

Monjo Carrió, J., Azorín López, V., Oteiza San José, I., & Ponce, M., 2008. II jornadas de investigación en la construcción (IETcc-CSIC). Conclusiones. *Informes de la Construcción*, julio-septiembre 2008, Vol. 60, 511, 75-86.

Montes, J., Camps, I. P., & Fúster, A., 2011. Industrialization in the social housing of madrid. [Industrialización en la vivienda social de Madrid] *Informes De La Construcción*, Vol. 63(522), 5-19.

Mroszczyk, J. W., 2006. *Designing for Construction Worker Safety*. Disponible en: <<http://www.asse.org/membership/docs/John%20Mroszczyk%20Article.doc>>. Acceso 4-7-2012.

Mroszczyk, J. W., 2008. Wholesale and retail trade sector. *Journal of Safety Research*, 39(2), 199-201.

Mullens, M.A. & Arif, M., 2006. *Structural Insulated Panel: Impact on the Residential Construction Process*. *Journal of Construction Engineering and Management* (ASCE), 2006. 132 (7): p. 786-794.

Müngen, U. & Gürcanli, G. E., 2005. Fatal traffic accidents in the Turkish construction industry. *Safety Science*, 43(5-6), 299-322.

NAHB, 2006. National Association of Home Builders. Lean construction. NAHB Research Center, Marlboro, MD.

Nahmens, I., 2007. Mass customization strategies and their relationship to lean production in the homebuilding industry. Ph.D. dissertation, Univ. of Central Florida, Orlando, FL.

Nahmens, I., & Mullens, M., 2009. The impact of product choice on lean homebuilding. *Constr. Innovation: Inf., Process, Manage.*, 9(1), 84-100.

Nadim, W. & Goulding, J. S., 2011. Offsite production: A model for building down barriers A european construction industry perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 18(1), 82-101.

Nahmens, I., & Bindroo, V., 2011. Is customization fruitful in industrialized homebuilding industry? *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(12), 1027-1035.

Nahmens, I. & Ikuma, L.H., 2012. Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 155-163.

Nahmens, I., & Mullens, M. A., 2011. Lean homebuilding: Lessons learned from a precast concrete panelizer. *Journal of Architectural Engineering*, 17(4), 155-161.

NHBC Foundation, 2012. A guide to modern methods of construction. Disponible en: <<http://www.nhbcfoundation.org/NewsMediaCentre/LaunchofGuidetoModernMethodsOfConstruction/tabid/350/Default.aspx>>. Acceso 4-8-2012>. Acceso 8-7-2012.

NIOSH, 2012. Web oficial del Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional. Disponible en: <<http://www.niosh.com.my/en/>>. Acceso 3-7-2012.

Noguchi M., 2000. User choice and flexibility in Japan's prefabricated housing industry.

NORA, 2007. National Occupational Research Agenda, 2012. Disponible en: <<http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/>>. Acceso 15-7-2012.

NORA, 2012. National Occupational Research Agenda. Disponible en: <<http://www.cdc.gov/niosh/nora/>>. Acceso 27-7-2012.

OSHA, 2004. Achieving better safety and health in construction. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones.

OSHA, 2009. European Agency for Safety and Health at Work. Sectors: Construction. Disponible en: <http://osha.europa.eu/en/sector/construction/index_html>. Acceso 7-7-2012.

OSHA, 2012-1. Web oficial de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. Quinta encuesta europea de condiciones de trabajo. Disponible en: <<http://osha.europa.eu/es/news/eu-eurofound-fifth-european-working-conditions-survey-2010-first-results>>. Acceso 2-7-2012.

OSHA, 2012-2. Web oficial de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo. Sector de la Construcción europeo. Disponible en: <<http://osha.europa.eu/es/sector/construction>>. Acceso 1-7-2012.

OIT, 2005. Informe sobre Seguridad en el Trabajo, 2005. International Labour Organization. Disponible en: <<http://www.ilo.org/>>. Acceso 31-7-2012.

Ohno, T., 1988. Toyota Production System, Productivity Press, New York.

Pan, W., Gibb, A.G.F. & Dainty, A.R.J., 2006. Perspectives of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction. *Construction Management and Economics* (in press).

Pan, W., Gibb, A. F. & Dainty, A.R.J., 2007. Perspective of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction. *Construction Management and Economics*, 25(2), 183-194.

Pan, W., Gibb, A. G. F., & Dainty, A.R.J., 2008. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. *Building Research and Information*, 36(1), 56-67.

Pan, W., & Sidwell, R., 2011. Demystifying the cost barriers to offsite construction in the UK. *Construction Management and Economics*, 29(11), 1081-1099.

Parry, T., Howlett, C. & Samuelsson-Brown, G., 2003. Off Site Fabrication: UK Attitudes and Potential. *Report 17356/1, BSRIA*, Bracknell.

P.C.I., 1976. Precast Concrete Institute, *Fachadas Prefabricadas*, Edit. Blume, 196 páginas, traducción: J. Salas, Madrid.

Peláez, G. I. C., & Armiñana, E. P., 2009. Tendencias en investigación sobre seguridad y salud laboral. Propuesta metodológica aplicada al sector de la construcción. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, (15), 63-73.

Pérez Arroyo, S., 2009. Do it industrial. [Industrializar]. *Informes De La Construcción*, 61(513), 5-10.

PFS Corporation, 2003. *Changes in Manufactured Housing and Construction of Non-Residential Modular Buildings in the United States.*, N. Y.

Phillipson, M., 2001. Defining the sustainability of prefabrication and modular process in construction. *Interim Rep. for Dept. of Trade and Industry*, BRE Environment Division, Watford, UK, 14-18.

- Pich-Aguilera, F., Batlle, T., & Casaldàliga, P., 2008. La arquitectura residencial como una realidad industrial. tres ejemplos recientes. *Informes De La Construcción*, 60(512), 47-60.
- Pich-Aguilera, F., Batlle, T., & Casaldàliga, P., 2008. Housing architecture as an industrial reality. three recent examples. [La arquitectura residencial como una realidad industrial. Tres ejemplos recientes] *Informes De La Construcción*, 60(512), 47-60.
- Pidgeon, N. F., 1991. Safety Culture and Risk Management in Organizations. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 22, 129–141.
- Pons, O., 2010. Evolution of prefabricated technologies applied to building schools. [Evolución de las tecnologías de Prefabricación aplicadas a la arquitectura escolar] *Informes De La Construcción*, Vol. 62(520), 15-26.
- Potter, E. T., 1890. Portable or Sectional Building, *U.S. Patent* No. 425.250, 8 abril 1890.
- Prouvé J., 1979. *Rev. 'T & A'*, Nº 327, Paris, 1979.
- Pulaski, M., 2005. Alignment of sustainability and constructability, the continuous value enhancement process. Ph.D.. dissertation, The Pennsylvania State Univ., University Park, PA.
- Queipo, J., Navarro, J. M., Izquierdo, M., del Águila, A., Guinea, D., Villamor, M., et al., 2009. INVISIO research project: Industrialization of sustainable houses. [Proyecto de investigación INVISIO: Industrialización de viviendas sostenibles] *Informes De La Construcción*, Vol. 61(513), 73-86.
- Rajendran, S., Gambatese, J. A. & Behm, M.G., 2009. Impact of green building design and construction on worker safety and health. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(10), 1058-1066.
- Real Decreto 1627/1997. *RD 1627/97 de disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción*. Boletín Oficial del Estado de BOE nº 256, de 25 de octubre.
- Reason, J., 1991. *Human error*. Cambridge University Press.
- REDES 2005, 2012. Web oficial del Programa de análisis bibliométrico REDES 2005, de la Universidad de Granada. Disponible en: <<http://www.ugr.es/~bailonm/redes/ayuda/>>. Acceso 8-9-2012
- Ridder, D., Mostert, E. & Wolters, H.A., 2005. Learning Together To Manage Together; Improving Participation in Water Management". Osnabrueck, USF, University of Osnabrueck, Germany. 2005. Disponible en: <www.harmonicop.uos.de/handbook.php>. Acceso 5-6-2012.
- Roy, R., Low, M. & Waller, J., 2005. Documentation, standardization and improvement of the construction process in house building, *Construction Management and Economics*, Vol. 23 No. 1, pp. 57-67.

Rubio, M.C., Menéndez, A., Rubio, J.C., Martínez, G., 2005. Obligations and Responsibilities of Civil Engineers for the prevention of Labour Risks. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, ASCE 5 (January), 70–75.

Ruiz-Larrea, C., Prieto, E., & Gómez, A., 2008. Architecture, industry and sustainability. [Arquitectura, industria y sostenibilidad] *Informes De La Construcción*, Vol. 60(512), 35-45.

Ruiz-Larrea, C., Prieto, E., Gómez, A. & Bugueño, H., 2009. El proyecto manubuild: Una propuesta de la aplicación de sistemas industrializados a la vivienda colectiva en España. *Informes De La Construcción*, Vol. 61(513), 47-58.

Rwamamara, R. & Holzmann, P., 2007. Reducing the human cost in construction through designing for health and safety – development of a conceptual participatory design model. *Second International Conference World of Construction Project Management 2007*. Disponible en : <http://wcpm2007.fyper.com/userfiles/file/Conference%20papers/WCPM2007%20paper%5B44%5D%20Rwamamara-Holzmann.pdf> >. Acceso 3-7-2012.

Sackette J.G., 1986. Japan's Manufactured Housing Capacity: A review of the industry and Assesnt of Future Impact on the U.S. Market.

Salas, J., 1981. Alojamiento y Tecnología : ¿Industrialización Abierta? 157 págs, IETcc -CSIC, Madrid.

Salas, J., 1982. "Flexibility, Interchangeability and Catalogues". *Rev. Open House, Holanda*, 1982. Vol. 7, nº 1; págs. 4 / 15.

Salas, J., 2008. From closed system precasting to the subtle industrialization of building construction: Keys to technological change. [De los sistemas de Prefabricación cerrada a la Industrialización sutil de la edificación: Algunas claves del cambio tecnológico] *Informes De La Construcción*, Vol. 60(512), 19-34.

Salas, J. & Oteiza, I., 2009. Divergent open industrialization strategies for pretentiously sustainable building construction. [Estrategias divergentes de Industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible] *Informes De La Construcción*, Vol. 61(513), 11-31.

Salem, O. & Zimmer, E., 2005. Application of lean manufacturing principles to construction. *Lean Constr. J.*, 2(2), 51–54.

Saurin, T. A., Formoso, C. T. & Cambraia, F. B., 2006. Towards a common language between lean production and safety management. *Proc., 14th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction (IGLC-14)*, Lean Construction Institute, Ketchum, ID.

Saunders, L. & Cooke, T., 2011. How do Project Manager's view construction safety in Australia versus the United States?. *CIB W099 International Council for Research and Innovation in Building and Construction*. 2011.

- Sawacha, E., Naoum, S. & Fong, D., 1999. Factors affecting safety performance on construction sites. *International Journal of Project Management* 17 (5), 309– 315.
- Schulte, P. A., Rinehart, R., Okun, A., Geraci, C. L. & Heidel, D. S., 2008. National prevention through design (PtD) initiative. *Journal of Safety Research*, 39(2), 115-121.
- Seminario de Prefabricación, 1974. Prefabricación, Teoría y Práctica, 2 tomos, Edit. ETA, Barcelona.
- SOLAR DECATHLON, 2005 y 2007. Concurso SOLAR DECATHLON, 2005 y 2007 de la Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <<http://www.solardecathlon.upm.es/es/noticia.php?news=5>>. Acceso 8-2-2012.
- Sparksman, G., Groak, S., Gibb, A. & Neale, R., 1999. Standardisation and Pre-assembly: Adding Value to Construction Projects, *CIRIA*, London.
- Suraji, A., Duff, A. R. & Peckitt, S. J., 2001. Development of causal model of construction accident causation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4), 337–344.
- Szymberski, R., 1997. Construction project safety planning. *TAPPI JOURNAL*, 80 (11), 69-71.
- Taboada, F. & Manuel, J., 1996. El modulator de le corbusier (1943-1954). Boletín Académico. *Escola Técnico Superior de Arquitectura da Coruña*, 1996, 20: 20-30. ISSN 0213-3474 Universidad de la Coruña. Disponible en: <<http://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/5278>>. Acceso 4-8-2012.
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X. & Ng, W. C. Y., 2006. Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42(10), 3642-3654.
- Taylor, M. D., 2010. A definition and valuation of the UK offsite construction sector. *Construction Management and Economics*, 28(8), 885-896.
- Toole, T., 2002. Construction Site Safety Roles. *Journal of Construction Engineering and Management*, May-June 2002, 203-210.
- Toole, T. & Gambatase, J., 2002. Primer on federal occupational safety and health administration standards, ASCE. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 7 (2).
- Toole, T. M. & S. Marquis, 2004. "Site Safety Attitudes of US and UK Design Engineers." *Designing for Safety and Health in Construction: Proceedings from a Research and Practice Symposium*. S. Hecker, J. Gambatase and M. Weinstein, Eds. Eugene, OR: University of Oregon Press.
- Toole, T.M., 2005. Increasing Engineers' Role in Construction Safety: Opportunities and Barriers. *J. of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 131(3): 199-207.

Toole, T. M. & Gambatese, J., 2006. The Future of Designing for Construction Safety. Disponible en: <<http://www.facstaff.bucknell.edu>>. Acceso 7-7-2012.

Toole, T. M. & Gambatese, J., 2008. The trajectories of prevention through design in construction. *Journal of Safety Research*, 39(2), 225-230.

Toole, T. M. & Carpenter, G., 2011. Prevention through design: An important aspect of social sustainability. *Proc., International Conference on Sustainable Design and Construction, Kansas City, MO*. Disponible en : <<http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Prevention+through+Design%3A+An+important+aspect+of+social+sustainability&btnG=&lr=>>>. Acceso 4-7-2012.

Toole, T. M. & Carpenter, G., 2012. Prevention through design: An important aspect of social sustainability. pp. 187-195.

Tymvios, N., Gambatese, J. & Sillars, D., 2012. Designer, contractor, and owner views on the topic of design for construction worker safety. *Construction Research Congress 2012@ sConstruction Challenges in a Flat World*, pp. 341-355.

Valdes-Vazquez, R., 2011. Teaching Safety through Design using a Social Sustainable Module. *CIB W099 International Council for Research and Innovation in Building and Construction. 2011*.

Vasconcelos, B., Soeiro, A. A. V. & Junior, B.V., 2011. PREVENTION THROUGH DESIGN: GUIDELINES FOR DESIGNERS. *Coordina2011*.

Venables, T., Barlow, J. & Gann, D., 2004. Manufacturing Excellence: UK Capacity in Offsite Manufacturing. *Report for the Housing Forum, Innovation Studies Centre, Imperial College, London*.

Wallace, A. & Neal. A., 2000. A Report on Safety in the Queen Island Meat Industry. *Report prepared for the Meat Industry Advisory Group and The Australian Meat Industry Employees Union*.

Wamuziri, S., 2011. Factors that Contribute to Positive and Negative Health and Safety Cultures in Construction. *CIB W099 International Council for Research and Innovation in Building and Construction. 2011*.

Waurzyniak, P., 2005. Lean at NUMMI. Here's how lean manufacturing improved this Toyota-GM joint venture's automotive manufacturing efficiency. *Manufacturing Engineering*, 135(3), 1-6.

Weinstein, M., Gambatese, J. & Hecker, S., 2005. Can design improve construction safety?: Assessing the impact of a collaborative safety-in-design process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(10), 1125-1134.

Whitaker, S.M., Graves, R.J., Malcolm, J. & McCann, P., 2003. Safety with Access scaffolds: development of a prototype decision aid based on accident analysis. *Journal of Safety Research* 34, 249-261.

Wiegmann,D., Zhang, H., Von Thaden, T., Sharma, G. & Mitchell, A., 2002. A Synthesis of Safety Culture and Safety Climate Research. Prepared for: *Federal Aviation Administration Atlantic City International Airport*, NJ.

Wisner, C. N., 1920. Improvements in and related to Concrete Buildings, *G.B. Patent* No. 144.913, 24 junio 1920.

Witzel, J. R., 1920. Building Construction, *U.S. Patent* No. 1.362.069, 14 diciembre 1920.

Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, J., 1990. The Machine that Changed the World, *Macmillan*, New York.

Womack, J.P. & Jones, D.T., 1996. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation, *Free Press Business*, London.

Womack, J. P. & Jones, D. T., 2005. Lean consumption. *Harvard Bus. Rev.*, 83(3), 58–69.

Wortman, R., 2007. Modular homes lead industry green building efforts. Disponible en: <http://EzineArticles.com/?expert=Rebekah_Wortman>. Acceso 21-8-2012.

Zambianchi, P., 2007. Solai in sicurezza. *Specializzata*, 168, 742–749 (in Italian).

Zhou, W., Whyte, J. & Sacks, R., 2012. Construction safety and digital design: A review. *Automation in Construction*, 22(0), 102-111.