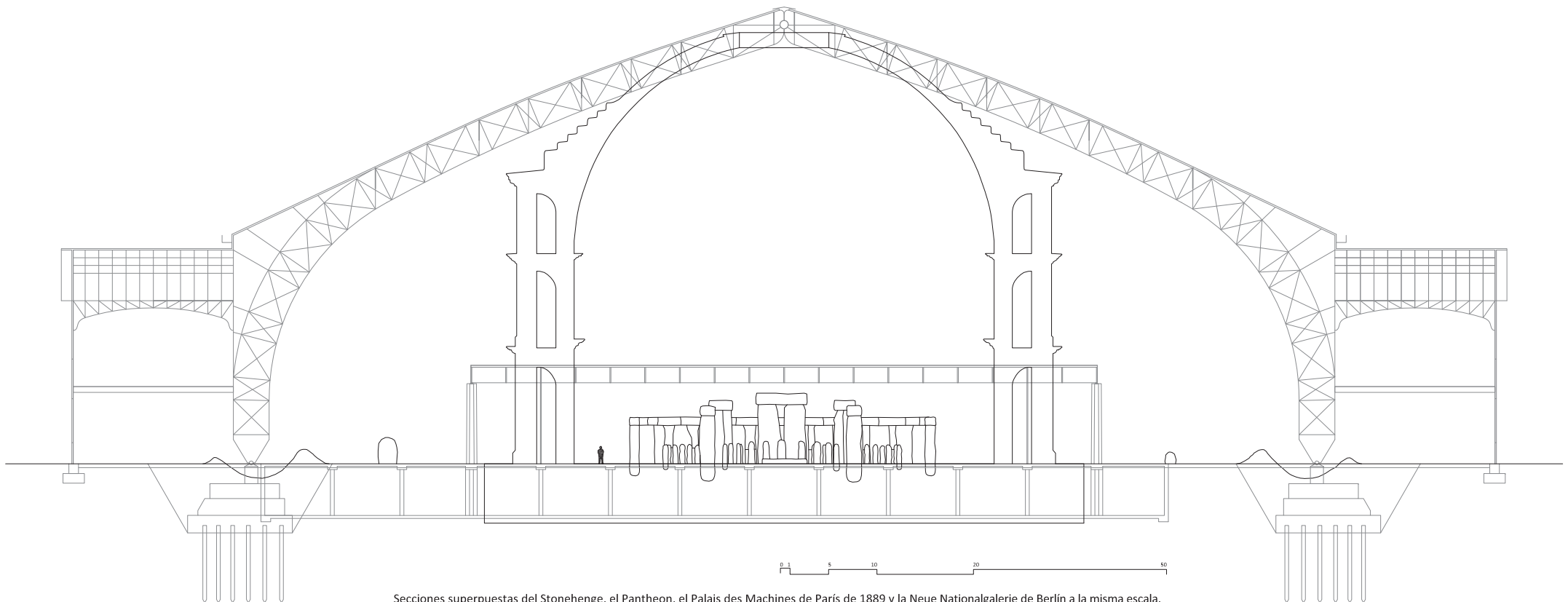


LA ESTRUCTURACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO POR LA GRAVEDAD Y LA LUZ

Oscar Linares de la Torre



Secciones superpuestas del Stonehenge, el Pantheon, el Palais des Machines de París de 1889 y la Neue Nationalgalerie de Berlín a la misma escala.

Título
LA ESTRUCTURACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO POR LA GRAVEDAD Y LA LUZ

Autor
Oscar Linares de la Torre

Director
Carlos Ferrater Lambarri

Centro
Departamento de Proyectos Arquitectónicos
Universidad Politécnica de Cataluña

Fecha de realización
Diciembre 2010 - Febrero 2015

Fecha de lectura
27 Febrero 2015

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

01. Portada

02. Datos de la tesis

03. Resumen

04. Sumario de la tesis original

05. Índice desarrollado de la tesis original

08. Contenido resumido de la tesis original

19. Propuesta de reelaboración de la tesis en caso de ser admitida para su publicación

Tribunal

Juan Carlos Arnuncio Pastor. *Catedrático de Proyectos Arquitectónicos, UPM*

Elisa Valero Ramos. *Catedrático de Proyectos Arquitectónicos, UGR*

Jordi Ros Ballesteros. *Profesor Titular de Proyectos Arquitectónicos, UPC*

Francisco Fayos Vallès. *Profesor Titular de Física Aplicada, UPC*

Francisco González de Canales Ruiz. *Tutor Doctor MA in History and Critical Thinking, Architectural Association*

Calificación

Sobresaliente Cum Laude

Abstract

Architecture is based on the relationship between matter and its absence, space. Matter, which arranged by the laws of gravity creates space, we name structure. The character of this space depends on the interaction between the matter that defines it and the light that reveals it. There isn't a single architectural construction in the world that while creating space has been able to elude the forces of terrestrial gravity, or do without the effects of solar light. Unable to modify the origin and physical nature of these two primordial facts, the architect must play with the different ways in which these are revealed on the matter that shapes the space.

This realization highlights the importance and the opportunity to write a doctoral investigation on the structuring of architectural space by gravity and light. The purpose of this research is to clarify the principles on which the interaction between gravity and light are based, with the aim of structuring architectural space.

The research is divided into three parts. The aim of the first part is to reveal the origins and the fundamental reasons for the architectural interest in gravity and light, lead in Spain by Juan Navarro Baldeweg and Alberto Campo Baeza. It shows that the importance of gravity and light in architecture has been recognized since ancient times. Authors as diverse and distant as Marcus Vitruvius, Christopher Wren, Arthur Schopenhauer and Theo Van Doesburg, have shown an interest in the spatial consequences of the interaction between both phenomena.

Nevertheless, in spite of the interest that these questions have risen, the theory of architecture has never felt the need to answer questions as apparently simple and basic as "What is Gravity?" or "What is light?". The second part of the research is dedicated to looking into the nature of both phenomena. This highlights the benefits of pursuing deeper into the knowledge of gravity and light, accumulated so carefully throughout time. For this purpose, the characteristics of the physical theories, that from Aristotle to Einstein have tackled the joint investigation of both phenomena, have been analyzed.

The third and final part of the research studies the design strategies used in the architectural manipulation of spatial purposes, through the structural interaction between gravity and light. Four architectural masterpieces –Stonehenge, the Pantheon in Rome, the Palais des Machines of the Universal Exhibition of Paris in 1889, and the Neue Nationalgalerie in Berlin-, will constitute paradigmatic examples of the different ways of conceiving architectural space throughout history. The analysis discovers the existence of a chronological and conceptual interrelationship between the evolution of the physical representation of gravity and light and the evolution of the different conceptions of architectural space. This fact leads us to consider the physical knowledge on both phenomena as a powerful design tool.

Under the conviction that space, gravity, and light are fundamental topics in the theoretical reflection and in the design of architectural practice, this research offers its own contribution to the collection of theoretical and practical reflections on both questions, that some of the most prestigious architects of our country have been developing in the past few decades.

Resumen

La *arquitectura* se fundamenta en la relación entre la *materia* y su ausencia, el *espacio*. A la materia que, dispuesta de acuerdo a las leyes de la *gravedad*, construye el espacio, la denominamos *estructura*. El carácter de este espacio depende de la interacción entre la materia grave que lo define y la *luz* que lo revela. No existe ni una sola obra de arquitectura en el mundo que, en su afán por construir el espacio, haya podido eludir la acción de la gravedad terrestre o haya podido prescindir de los efectos de la luz solar. Ante la imposibilidad de modificar las propiedades de estas dos realidades primigenias incidiendo en el origen y la causa de su naturaleza física, el arquitecto debe actuar sobre los distintos modos en que éstas se manifiestan sobre la materia que conforma el espacio.

Esta percatación advierte de la importancia y la oportunidad de la presente investigación doctoral sobre *la estructuración del espacio arquitectónico por la gravedad y la luz*, cuya finalidad es esclarecer los principios sobre los que se fundamenta la interacción entre la gravedad y la luz a fin de estructurar el espacio arquitectónico.

La investigación se estructura en tres partes. La primera se plantea como objetivo el esclarecimiento de los orígenes y las razones fundamentales sobre las que se sustenta el actual interés por la gravedad y la luz, liderado en nuestro país por los arquitectos Juan Navarro Baldeweg y Alberto Campo Baeza. Se descubre que, desde antiguo, se ha reconocido la importancia fundamental de la gravedad y de la luz en el hecho arquitectónico: autores tan distintos y distantes como Marco Vitruvio, Christopher Wren, Arthur Schopenhauer o Theo Van Doesburg, se han interesado en las consecuencias espaciales de la interacción estructural de ambos fenómenos.

Sin embargo, a pesar del interés que han suscitado siempre ambas cuestiones, la teoría arquitectónica no se ha planteado nunca la necesidad de responder a preguntas aparentemente tan sencillas y elementales como ¿qué es la gravedad? o ¿qué es la luz?. La segunda parte de la investigación se dedica a indagar en la naturaleza de ambos fenómenos. Es entonces cuando se advierte la conveniencia de ahondar en el conocimiento científico sobre la gravedad y la luz, acumulado con tanto rigor y durante tanto tiempo. A tal efecto, se han analizado las características de las teorías físicas que, a lo largo de la historia, han abordado la investigación conjunta de ambos fenómenos desde Aristóteles hasta Einstein.

En la tercera y última parte de la investigación se estudian las estrategias proyectuales empleadas en la manipulación arquitectónica de la interacción estructural entre la gravedad y la luz con fines espaciales. Este estudio se desarrolla por medio del análisis de cuatro obras maestras de la arquitectura –el Stonehenge, el Pantheon de Roma, el Palais des Machines de la Exposición Universal de París de 1889 y la Neue Nationalgalerie de Berlín-, que se constituyen en ejemplos paradigmáticos de las distintas maneras de concebir el espacio arquitectónico a lo largo de la historia. Como consecuencia de esta investigación, se descubre la existencia de una correlación cronológica y conceptual entre la evolución de la representación física de la gravedad y de la luz y la evolución de las distintas concepciones espaciales arquitectónicas, hecho que induce a considerar al conocimiento físico sobre ambos fenómenos como una potente herramienta proyectual.

Con el convencimiento de que el espacio, la gravedad y la luz son temas fundamentales en la reflexión teórica y la práctica proyectual del quehacer arquitectónico, la presente investigación realiza su propia aportación al conjunto de reflexiones teóricas y proyectuales sobre la gravedad y la luz en la arquitectura, que algunos de los más prestigiosos arquitectos de nuestro país han venido desarrollando durante las últimas décadas.

Sumario de la tesis original

INTRODUCCIÓN

PARTE I. LA GRAVEDAD Y LA LUZ EN LA TEORÍA DE LA ARQUITECTURA

- I.1 Introducción
- I.2 Investigaciones anteriores
- I.3 Orígenes del interés arquitectónico por la gravedad y la luz
- I.4 La reflexión arquitectónica sobre la gravedad y la luz

PARTE II. LA GRAVEDAD Y LA LUZ COMO FENÓMENOS FÍSICOS

- II.1 Introducción
- II.2 Los primeros postulados de la antigüedad clásica
- II.3 La revolución científica del siglo XVII
- II.4 La física moderna de los siglos XIX-XX
- II.5 Conclusiones

PARTE III. LA GRAVEDAD Y LA LUZ EN LA ESTRUCTURACIÓN DEL ESPACIO

- III.1 Introducción
- III.2 La resistencia a la gravedad y la oposición a la luz en la estructuración del espacio exterior.
El Stonehenge
- III.3 El encauzamiento de la gravedad y la interiorización de la luz en la estructuración del espacio interior.
El Pantheon de Roma
- III.4 La victoria de la luz sobre la gravedad en la estructuración del espacio interior exteriorizado.
El Palais des Machines de la Exposición Universal de París de 1889
- III.5 La abstracción de la gravedad y la levedad de la luz en la estructuración del espacio interior en continuidad con el exterior.
La Neue Nationalgalerie de Berlín
- III.6 Conclusiones

CONCLUSIONES

ANEXO. Citas textuales

BIBLIOGRAFÍA

Índice desarrollado de la tesis original

1. INTRODUCCIÓN

- 0.1. Prefacio
- 0.2. Vinculación personal del autor con el tema de investigación
- 0.3. Finalidad y objetivos
- 0.4. Estructura de la investigación
- 0.5. Metodología de estudio

31. PARTE I. LA GRAVEDAD Y LA LUZ EN LA TEORÍA DE LA ARQUITECTURA

35. I.1. Introducción

37. I.2. Investigaciones anteriores

- I.2.1. Juan Navarro Baldeweg
 - I.2.1.1. La manifestación de la luz y la gravedad como objeto del arte*
 - I.2.1.1.1. Piezas de luz*
 - I.2.1.1.2. Piezas de gravedad*
 - I.2.1.1.3. Piezas de luz y gravedad*
 - I.2.1.2. Arquitectura, luz y gravedad*
 - I.2.1.3. La estructura arquitectónica, entre la luz y la gravedad*
 - I.2.1.3.1. Estratificación vertical de lo pesado y lo ligero*
 - I.2.1.3.2. "Piezas de luz": cúpulas ingravidas*
 - I.2.1.3.3. "Figuras de luz en su totalidad": vigas-lucernario*
 - I.2.1.3.4. Núcleos masivos envueltos por ligeras tramas de luz*
- I.2.2. Alberto Campo Baeza
 - I.2.2.1. Arquitectura, espacio y luz*
 - I.2.2.2. La tectónica de la luz y la estereotomía de la gravedad*
 - I.2.2.2.1. Kenneth Frampton: estructura, tectónica y estereotomía*
 - I.2.2.2.2. Bötticher y Semper: estructuralismo y espacialidad tectónica*
 - I.2.2.2.3. Campo Baeza: luz tectónica y gravedad estereotómica*
 - I.2.2.3. Gravedad estructural y luz estructurada*
 - I.2.2.3.1. La revelación de la estructura*
 - I.2.2.3.2. El belvedere tectónico sobre el podio estereotómico*
 - I.2.2.3.3. La masa estructural estereotómica atravesada por la luz*
 - I.2.2.3.4. La tectónica de la trama estructural translúcida*
 - I.2.2.4. Arquitectura, física y Newton*
- I.2.3. Navarro Baldeweg y Campo Baeza: luz y gravedad

95.	I.3. Orígenes del interés arquitectónico por la gravedad y la luz	<i>II.4.1.2. Albert Einstein: la nueva luz del siglo XX</i> <i>II.4.1.2.1. La naturaleza cuántica de la luz</i> <i>II.4.1.2.2. La velocidad de la luz como constante universal</i>
	I.3.1. Marco Vitruvio: gnomónica y mecánica <i>I.3.1.1. Las tres partes de la arquitectura</i>	
	I.3.2. Christopher Wren: óptica y estática <i>I.3.2.1. Wren, arquitecto: la belleza de la luz y la estática estructural</i>	II.4.2. Albert Einstein: gravedad, geometría y espacio <i>II.4.2.1. Los dos principios fundamentales de la relatividad general</i> <i>II.4.2.1.1. La curvatura del espacio-tiempo por acción de la masa</i> <i>II.4.2.1.2. La flotación libre de la materia en el espacio-tiempo curvo</i> <i>II.4.2.2. La gravitación de la luz en la relatividad general</i>
	I.3.3. Arthur Schopenhauer: luz y gravedad <i>I.3.3.1. La arquitectura como manifestación de la luz y de la gravedad</i>	
	I.3.4. Arquitectura moderna: entre la física relativista y el arte de vanguardia	II.4.3. Hacia una teoría unificada de la luz y la gravedad
112.	I.4. La reflexión arquitectónica sobre la gravedad y la luz	
119.	PARTE II. LA GRAVEDAD Y LA LUZ COMO FENÓMENOS FÍSICOS	193. II.5. Conclusiones II.5.1. Sobre las grandes teorías de la gravedad II.5.2. Sobre las sucesivas teorías en torno a la luz II.5.3. Las teorías unificadas sobre la gravedad y la luz II.5.4. La relación física entre la gravedad y la luz
123.	II.1. Introducción	
	II.1.1. Los tres grandes periodos en la física de la luz y la gravedad II.1.2. Consideraciones de carácter metodológico	
129.	II.2. Los primeros postulados de la antigüedad clásica	205. PARTE III. LA GRAVEDAD Y LA LUZ EN LA ESTRUCTURACIÓN DEL ESPACIO
	II.2.1. Aristóteles: gravedad telúrica y luz etérea <i>II.2.1.1. La "gravedad" como tendencia natural de los cuerpos pesados</i> <i>II.2.1.2. La luz como cualidad del medio diáfano</i>	209. III.1. Introducción III.1.1. Consideraciones de carácter conceptual III.1.2. Estructura y consideraciones de carácter metodológico
	II.2.2. Euclides y Arquímedes: geometría, luz y gravedad <i>II.2.2.1. La luz geométrica de Euclides</i> <i>II.2.2.2. La "gravedad" geométrica de Arquímedes</i>	225. III.2. La resistencia a la gravedad y la oposición a la luz en la estructuración del espacio exterior III.2.1. El Stonehenge III.2.2. La verticalidad del peso y la caída III.2.3. La orientación de la luz solar III.2.4. Gravedad y luz como realidades contrapuestas III.2.5. La cubrición del espacio como problema gravitatorio III.2.6. El nacimiento de la luz estructural III.2.7. La resistencia a la gravedad y la oposición a la luz en la estructuración del espacio exterior
	II.2.3. Plutarco: la <i>gravitas</i> romana	
137.	II.3. La revolución científica del siglo XVII	261. III.3. El encauzamiento de la gravedad y la interiorización de la luz en la estructuración del espacio interior III.3.1. El Pantheon de Roma III.3.2. La luz y la sombra como secuencia espacial III.3.3. La forma de la gravedad clásica <i>III.3.3.1. La tectónica de la estructura arquitrabada</i> <i>III.3.3.2. La ligereza inclinada como mecanismo de cubrición</i> III.3.4. El espacio estructurado por la curvatura de la gravedad <i>III.3.4.1. Del dintel al arco: la gravedad como necesidad estructural</i> <i>III.3.4.2. La curvatura intrínseca de la gravedad</i> <i>III.3.4.3. La mecánica gravitatoria del espacio estructural</i> <i>III.3.4.4. La tectónica aparente de la estructura</i> III.3.5. La luz como presencia espacial y ausencia gravitatoria <i>III.3.5.1. La estructura física de la luz ocular</i> <i>III.3.5.2. La ingravidez de la luz reflejada</i> III.3.6. El encauzamiento de la gravedad y la interiorización de la luz en la estructuración del espacio interior
	II.3.1. Galileo Galilei: el principio del fin de la física aristotélica <i>II.3.1.1. El principio del fin de la gravedad aristotélica</i> <i>II.3.1.2. La indefinición material de la luz</i>	
	II.3.2. Johannes Kepler: luz y gravedad como "virtudes" <i>II.3.2.1. La luz, materia inmaterial</i> <i>II.3.2.2. La gravedad terrestre y el movimiento celeste</i>	
	II.3.3. René Descartes: vórtices, gravedad y luz <i>II.3.3.1. La gravedad terrestre como repulsión desigual de la materia</i> <i>II.3.3.2. La luz como acción de la materia sutil</i>	
	II.3.4. Christiaan Huygens: una nueva luz, sin gravedad <i>II.3.4.1. La luz como onda etérea</i> <i>II.3.4.2. La gravedad "descartada"</i>	
	II.3.5. Isaac Newton: éter, gravedad y luz <i>II.3.5.1. La gravedad, una fuerza universal</i> <i>II.3.5.2. La luz corpuscular</i>	
	II.3.6. La interacción luz-gravedad después de Newton	
171.	II.4. La física moderna de los siglos XIX-XX	
	II.4.1. Hacia una nueva luz <i>II.4.1.1. El siglo XIX: de la luz corpuscular a la onda electromagnética</i> <i>II.4.1.1.1. Young y Fresnel: de vuelta a la teoría ondulatoria de la luz</i> <i>II.4.1.1.2. Faraday y Maxwell: la luz como onda electromagnética</i>	

373. **III.4. La victoria de la luz sobre la gravedad en la estructuración del espacio interior exteriorizado**
- III.4.1. El Palais des Machines de 1889
 - III.4.2. La gravedad superada
 - III.4.2.1. *La gravedad ausente del siglo XIX*
 - III.4.2.2. *El gran espacio diáfano: más espacio con menos materia*
 - III.4.2.3. *La forma estructural como optimización de la función portante*
 - III.4.2.4. *La nueva articulación entre la carga y el soporte*
 - III.4.2.5. *La ligereza de la línea estructural*
 - III.4.3. El descubrimiento de una nueva luz
 - III.4.3.1. *La luz vitrificada como cerramiento espacial*
 - III.4.3.2. *De la luz estructural a la luz desestructurada*
 - III.4.3.3. *El peso de la transparencia*
 - III.4.4. La victoria de la luz sobre la gravedad en la estructuración del espacio interior exteriorizado
437. **III.5. La abstracción de la gravedad y la levedad de la luz en la estructuración del espacio interior en continuidad con el exterior**
- III.5.1. La Neue Nationalgalerie de Berlín
 - III.5.2. La estructuración del espacio continuo
 - III.5.3. La levedad como abstracción de la gravedad
 - III.5.3.1. *Abstracción y gravedad: entre la física y la arquitectura*
 - III.5.3.2. *La planeidad como abstracción de la forma de cubrición*
 - III.5.3.3. *La levedad como abstracción de la condición del apoyo*
 - III.5.4. La espacialidad de la luz abstracta
 - III.5.5. La abstracción de la gravedad y de la luz en la estructuración del espacio continuo
527. **III.6. Conclusiones**
- III.6.1. La estructuración gravitatoria del espacio
 - III.6.1.1. *El peso de la primera concepción espacial*
 - III.6.1.2. *La curvatura gravitatoria de la segunda concepción espacial*
 - III.6.1.3. *La ligereza de la tercera concepción espacial*
 - III.6.1.4. *La levedad de la cuarta concepción espacial*
 - III.6.1.5. *La gravedad en la construcción del espacio*
 - III.6.2. La estructuración lumínica del espacio
 - III.6.2.1. *La sombra exterior de la primera concepción espacial*
 - III.6.2.2. *La luz interior de la segunda concepción espacial*
 - III.6.2.3. *La luminosidad ligera de la tercera concepción espacial*
 - III.6.2.4. *La abstracción lumínica de la cuarta concepción espacial*
 - III.6.2.5. *La luz en la configuración del espacio*
 - III.6.3. Hacia la transparencia estructural
555. **IV. CONCLUSIONES**
- IV.0. Introducción
 - IV.1. La gravedad y la luz en la teoría de la arquitectura
 - IV.2. El conocimiento físico sobre la gravedad y la luz
 - IV.3. La estructuración del espacio arquitectónico por la gravedad y la luz
 - IV.4. Epílogo

587. **ANEXO. CITAS TEXTUALES**
- V.1. Arquitectura, gravedad y luz
 - V.2. La relación estructural entre la gravedad y la luz
 - V.3. Sobre la gravedad
 - V.4. La importancia de la gravedad en la forma estructural
 - V.5. Sobre la luz y el espacio arquitectónico
 - V.6. La luz y la forma de la estructura
 - V.7. Luz y sombra, percepción y espacialidad
 - V.8. La ambigüedad material de la luz
639. **BIBLIOGRAFÍA**
- IV.1. La gravedad y la luz en la teoría de la arquitectura
- IV.1.1. *Juan Navarro Baldeweg*
 - IV.1.2. *Alberto Campo Baeza*
 - IV.1.3. *Bibliografía española sobre la gravedad y la luz en la arquitectura*
 - IV.1.4. *Orígenes del interés arquitectónico por la gravedad y la luz*
 - IV.1.5. *Conocimiento científico e intuición artística*
- IV.2. La gravedad y la luz como fenómenos físicos
- IV.2.1. *Obras generales*
 - IV.2.2. *Los primeros postulados de la antigüedad clásica*
 - IV.2.3. *La revolución científica del siglo XVII*
 - IV.2.4. *La física moderna de los siglos XIX-XX*
- IV.3. La gravedad y la luz en la estructuración del espacio
- IV.3.1. *Bibliografía genérica*
 - IV.3.2. *La resistencia a la gravedad y la oposición a la luz en la estructuración del espacio exterior*
 - IV.3.3. *El encauzamiento de la gravedad y la interiorización de la luz en la estructuración del espacio interior*
 - IV.3.4. *La victoria de la luz sobre la gravedad en la estructuración del espacio interior exteriorizado*
 - IV.3.5. *La abstracción de la gravedad y de la luz en la estructuración del espacio interior en continuidad con el exterior*

Contendio resumido de la tesis original

La arquitectura se fundamenta en la relación entre la *materia* y su ausencia, el *espacio*. El carácter de este espacio depende de la interacción entre la materia grave que lo define y la luz que lo revela. No existe ni una sola obra de arquitectura en el mundo que, en su afán por construir el espacio, haya podido eludir la acción de la *gravedad* terrestre, o haya podido prescindir de los efectos la *luz* solar. Esta sencilla constatación justifica, por sí misma, la oportunidad y la conveniencia de la presente investigación.

Ante la imposibilidad de modificar las propiedades de la gravedad y de la luz actuando en el origen y la causa de su naturaleza física, el arquitecto se ve obligado a desarrollar diversas estrategias proyectuales destinadas a manipular conscientemente los efectos de ambas realidades físicas sobre la materia que delimita el espacio. La finalidad de la presente investigación ha sido revelar los principios sobre los que se fundamenta la interacción de la gravedad y la luz en la estructuración del espacio arquitectónico.

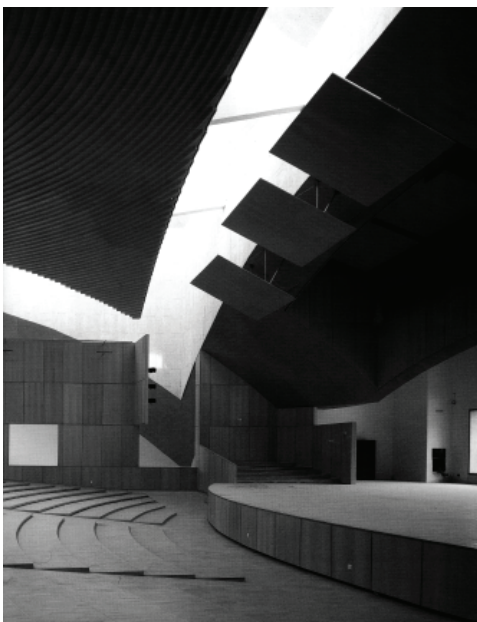
Respondiendo a los distintos objetivos que se impone la investigación, el trabajo se ha estructurado en tres partes: en la primera se ha ahondado en el origen histórico y en los principios teóricos de la reflexión arquitectónica sobre la gravedad y la luz; en la segunda se ha analizado la evolución del conocimiento científico sobre la naturaleza física de ambos fenómenos; por último, en el tercer y último apartado se han analizado las estrategias proyectuales destinadas a estructurar el espacio por medio de la interacción arquitectónica de la gravedad y la luz.

Con el convencimiento de que el espacio, la gravedad y la luz son temas fundamentales en la reflexión teórica y la práctica proyectual del quehacer arquitectónico, la presente investigación realiza su propia aportación al conjunto de reflexiones teóricas y proyectuales sobre la gravedad y la luz en la arquitectura que algunos de los más prestigiosos arquitectos de nuestro país han venido desarrollando durante las últimas décadas.

1. LA GRAVEDAD Y LA LUZ EN LA TEORÍA DE LA ARQUITECTURA

El análisis de las reflexiones teóricas y proyectuales sobre la interacción estructural de la gravedad y de la luz con fines espaciales por parte de Juan Navarro Baldeweg y Alberto Campo Baeza, los dos arquitectos que durante las últimas décadas han liderado la reflexión en torno a estas cuestiones en nuestro país, precede al inicio de la presente investigación y, al mismo tiempo, deviene en punto de partida natural de la misma. Ambos arquitectos identifican al espacio como el elemento protagonista del hecho arquitectónico y, a pesar de sus diferencias y particularidades proyectuales, reconocen en la estructura el elemento físico sobre el que interactúan la gravedad y la luz.

Sin embargo, el análisis de la obra de ambos arquitectos no permite rastrear el origen del interés de la teoría arquitectónica contemporánea hacia estas dos realidades físicas. Es por ello que la primera parte de la investigación se plantea como objetivo el esclarecimiento de los orígenes y los principios del interés arquitectónico por la gravedad y la luz.



Juan Navarro Baldeweg.
Palacio de Congresos de Salamanca.
Salamanca, 1985-1992.



Alberto Campo Baeza.
Caja General de Granada.
Granada, 1992-2001.

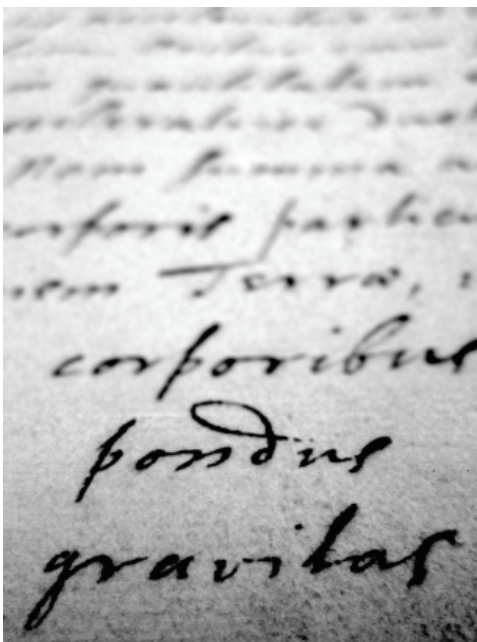
La satisfacción de este primer objetivo bastaría en sí mismo para el desarrollo de una investigación completa. Sin embargo, una investigación de este tipo se alejaría de la finalidad del trabajo aquí planteado. Es por ello que debe entenderse que el análisis de la presencia de reflexiones relacionadas con la gravedad y la luz en la teoría de la arquitectura desde la antigüedad hasta el presente desarrollado en esta primera parte, no pretende agotar en absoluto esta cuestión.

En “De Architectura, Libri Decem” (Los diez libros de arquitectura), el tratado sobre arquitectura más antiguo conservado, Marco Vitruvio señala a la Construcción (*aedificatio*), la Gnomónica (*gnomonice*) -la ciencia que estudia el movimiento de la luz solar por medio de una vara o *gnomon* clavado en el suelo- y la Mecánica (*machinatio*) -la ciencia que se ocupa del equilibrio y el movimiento de los cuerpos sometidos a algún tipo de fuerza, en este caso la gravedad- como las tres partes de la arquitectura. Señala ya así a la luz y la gravedad como verdaderos protagonistas del hecho arquitectónico. Con el fin del imperio romano el tratado cae en el olvido. Con el redescubrimiento del tratado en el siglo XV se recuperan los preceptos de la teoría vitruviana, pero el interés por el esquema tripartito de la construcción (firmitas, utilitas, venustas) consigue eclipsar a las tres partes de la arquitectura (*aedificatio*, *gnomonice*, *machinatio*), haciendo desaparecer de este modo la gnomónica y la mecánica de la teoría de la arquitectura.

En su interpretación del tratado de Vitruvio, Sir Christopher Wren recupera a la gravedad y la luz al afirmar que las tres partes de la arquitectura son la Firmeza (que depende de las razones geométricas de la Estática, una parte de la mecánica íntimamente relacionada con la gravedad), la Belleza (que depende de las leyes geométricas de la Óptica, la rama de la física que estudia los fenómenos de la luz), y la Variedad. No obstante, las circunstancias que acompañaron a la publicación póstuma de sus tratados sobre arquitectura a mediados del siglo XVIII, invitan a pensar que sus reflexiones debieron tener una escasa repercusión en el ámbito de la teoría arquitectónica.

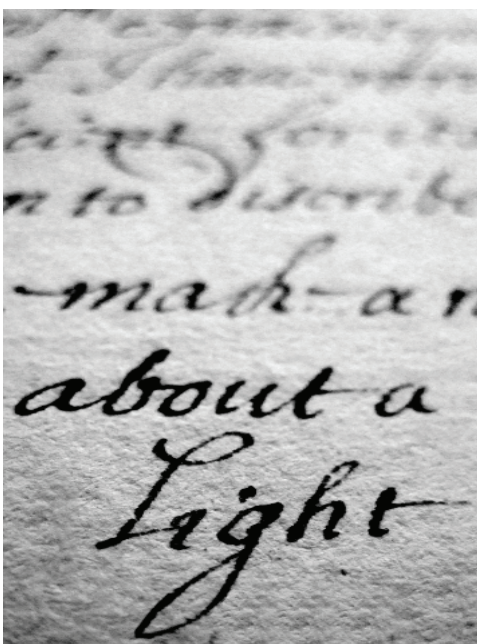
Entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, los más ilustres pensadores alemanes se entregan con vehemencia y rigor a la reflexión sobre la naturaleza del conocimiento humano, aunando la filosofía, el arte y la ciencia. La presente investigación consigue acotar la aparición explícita de la gravedad y de la luz en la reflexión arquitectónica entre el 1775, año en que Baumgarten publica el “*De Nonnullis ad poema pertinentibus*”, y el 1819, cuando se publica la primera edición de “*Die Welt als Wille und Vorstellung*” (El mundo como voluntad y representación) de Arthur Schopenhauer. En este tratado de filosofía se afirma, de manera explícita, que la finalidad de la arquitectura no es otra que expresar los fenómenos de la gravedad y de la luz.

Las vanguardias artísticas europeas de principios del siglo XX, en parte herederas de la estética alemana decimonónica, incorporan de manera consciente los nuevos postulados de la física moderna sobre la naturaleza de la gravedad y la luz. Aunque estas ideas devienen en la base conceptual de la arquitectura moderna en sus inicios, a partir de la década de los años treinta estas cuestiones se ven relegadas a un segundo plano. La revalorización del legado teórico de artistas de vanguardia tan destacados como Theo Van Doesburg o Laszlo Moholy-Nagy durante la década de los años sesenta del siglo XX por parte de Gyorgy Kepes y Kenneth Frampton, respectivamente, vuelve a poner a la gravedad y a la luz en el centro de la reflexión arquitectónica. Estas reflexiones sientan las bases conceptuales de la obra de Juan Navarro Baldeweg y Alberto Campo Baeza.



"pondus", "gravitas"

NEWTON, Isaac: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Manuscrito original (1685): The Royal Society, Ref. No.: MS/69, folio 3 (Definition VIII). Fotografía del autor.



"light".

NEWTON, Isaac: *A discourse Of Mr Isaac Newton containing his New Theory about Light and Colours*, sent by him from Cambridge February 6 1672. Manuscrito original: The Royal Society, Ref. No.: RBO/4/44, folio 146. Fotografía del autor.

Este análisis permite constatar que, ya desde antiguo, se reconoce la importancia fundamental de la gravedad y de la luz en el hecho arquitectónico. Los autores estudiados se han interesado en las consecuencias espaciales de la mutua interrelación de ambos fenómenos más que en su condición particular, reconociendo en la estructura el elemento en el que se produce dicha interacción.

Esta indagación cronológica y conceptual en el origen y posterior desarrollo del interés arquitectónico por la gravedad y por la luz desde la antigüedad hasta la actualidad, tiene un carácter totalmente inédito y deviene en la principal aportación de esta primera parte de la investigación. Se ha conseguido construir un hilo conductor de la evolución de estas reflexiones arquitectónicas en torno a la gravedad y a la luz a lo largo de la historia. Gracias a ello se han descubierto referencias teóricas sobre la gravedad y la luz en la arquitectura en autores tan distintos y tan distantes como Vitruvio, Wren o Schopenhauer, hecho que pone de manifiesto que se ha reconocido siempre la importancia fundamental de ambas cuestiones en el hecho arquitectónico. Se ha conseguido así determinar con precisión el periodo histórico en el que por primera vez aparecen de manera explícita las nociones de gravedad y luz en la teoría de la arquitectura, así como las razones que han motivado el interés actual por estas cuestiones.

2. EL CONOCIMIENTO FÍSICO SOBRE LA GRAVEDAD Y LA LUZ

De la primera etapa de la investigación se constata que el interés por la importancia de la gravedad y la luz en la arquitectura no es una cuestión actual y pasajera, sino que viene de antiguo. Sin embargo, se advierte que, pese a reconocer la importancia estructural de la gravedad y la luz en la arquitectura como hecho espacial, ninguno de los autores analizados se preocupa por conceptualizar la gravedad y la luz. La teoría arquitectónica no se encuentra en disposición de responder a preguntas aparentemente tan sencillas como ¿qué es la gravedad? o ¿qué es la luz?

Entre los más importantes retos de la física se encuentra el intentar comprender la naturaleza y la causa eficiente, precisamente, de la gravedad y de la luz. Durante siglos, los físicos más importantes de toda la historia se han esforzado en formular leyes y teorías coherentes entre sí y con la realidad, mediante las cuales han intentado descubrir y describir los fenómenos y la naturaleza de la gravedad y la luz. Si lo que se quiere es minimizar las dificultades que entraña la reflexión poética de carácter intuitivo-artístico sobre la gravedad y la luz desde el ámbito de la teoría arquitectónica, no puede obviarse este conocimiento físico en torno a la gravedad y la luz, construido durante tanto tiempo y con tanto rigor. Por su cantidad (hace más de dos mil años que la física se ocupa de estas cuestiones), su calidad (las mentes más brillantes de la física de todos los tiempos han intentado comprender la naturaleza de ambos fenómenos) y su cualidad (el método científico induce a la conceptualización objetiva y crítica de las cuestiones estudiadas), el conocimiento físico de las dos realidades físicas que aquí nos ocupan debe incorporarse necesariamente a esta investigación sobre la estructuración del espacio arquitectónico.

A pesar del carácter arquitectónico de los autores analizados en la primera parte de la investigación, todos ellos comparten un especial interés por el conocimiento de la naturaleza científica de ambos fenómenos: Vitruvio consideraba la arquitectura una "ciencia adornada de otras muchas disciplinas", como la óptica, la filosofía, la

fisiología, la mecánica, etc.; Wren, coetáneo de Newton, fue al mismo tiempo presidente de la Royal Society y arquitecto jefe de la reconstrucción de la Saint Paul Cathedral; Schopenhauer se formó en filosofía natural y rebatió la teoría de los colores de la luz de Newton y Goethe antes de adentrarse de lleno en el ámbito de la filosofía y la gnoseología; las vanguardias europeas se apoyaron en la física relativista en sus indagaciones conceptuales, hasta el punto que Le Corbusier incorporó asiduamente artículos sobre física en su revista L'Esprit Nouveau; para Navarro Baldeweg es natural hablar de la arquitectura como un campo de energías haciendo clara alusión a la gravedad y la luz y Campo Baeza no oculta sus referencias newtonianas. Esta inesperada circunstancia refleja la conveniencia de incorporar el conocimiento físico sobre la gravedad y la luz al ámbito de estudio de la presente investigación a fin de encontrar en la física teórica las respuestas no halladas en la teoría de la arquitectura.

Sin embargo, pronto se descubre que la física lleva intentando responder sin éxito aquellas preguntas aparentemente tan sencillas a las que se hace alusión líneas más arriba desde hace más de dos mil años. A lo largo de la historia, las teorías sobre la naturaleza de la gravedad y de la luz formuladas por las mentes más brillantes de la física han sido sistemáticamente invalidadas y sustituidas por autores posteriores. Esta provisionalidad crónica induce a considerar que quizá no sea posible responder de un modo definitivo a estas cuestiones fundamentales. Se advierte entonces que el interés por el conocimiento físico sobre la gravedad y la luz debe centrarse en la evolución de los distintos modos en que el ser humano ha intentado explicar estos fenómenos a lo largo del tiempo: se inicia así un recorrido por las más importantes teorías sobre ambos fenómenos.

El estudio, basado tanto en fuentes primarias y secundarias, en varios idiomas (latín, inglés, italiano, alemán, francés, etc.), con análisis de manuscritos y primeras ediciones originales en la Royal Society de Londres, se estructura en tres partes: en la primera, centrada en la antigüedad clásica, se analiza principalmente la obra de Aristóteles por la influencia que tuvo a partir del siglo XV; la segunda parte se centra en la revolución científica del siglo XVII, que culmina con las teorías formuladas por Isaac Newton; la tercera parte analiza la física moderna del siglo XIX que, a principios del XX, da lugar a las revolucionarias teorías de Albert Einstein.

La aproximación al conocimiento físico de la gravedad es una historia construida en base a grandes teorías y grandes vacíos. Su desarrollo no puede entenderse tanto como la evolución de una idea a lo largo del tiempo, sino como la sucesión de distintas teorías inconexas y radicalmente distintas a sus predecesoras que, una vez tras otra, han descrito con más acierto que las anteriores los hechos observados. En la evolución de la comprensión física de la gravedad a lo largo de la historia pueden distinguirse tres grandes etapas: 1) la explicación aristotélica, que confunde la gravedad con el peso (puesto que el concepto de gravedad como tal aún no existía), explicándolo como la tendencia de los elementos terrestres a dirigirse, por simple afinidad, hacia el centro de la tierra; 2) la ley de gravitación universal de Newton, según la cual la gravedad es una fuerza de atracción mutua y universal que actúa instantáneamente sobre toda la materia y cuya intensidad es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional a la inversa del cuadrado que las separa; y 3) la relatividad general de Einstein, en la que se presenta a la gravedad como la ley que rige la relación entre la curvatura del espacio por acción de masa, y el movimiento de ésta a través de este espacio curvo.

En cambio, la historia del conocimiento físico de la luz es a la vez más continua y confusa. De las primeras reflexiones de los pensadores griegos surgieron distintas concepciones sobre su naturaleza que, de un modo u otro, han ido desarrollándose a

lo largo del tiempo. Además, durante largos periodos llegaron a coexistir, en absoluta disputa, teorías sobre la naturaleza de la luz diametralmente contrapuestas. Sin embargo, ninguna de estas teorías llegó nunca a formularse con suficiente solidez, lo que asentó a la reflexión sobre la naturaleza de la luz en un estado de permanente provisionalidad: para Aristóteles la luz era la “actualización” del diáfano; para Kepler era una suerte de virtud corporal inmaterial; para Huygens una onda etérea; para Newton la proyección de un diminuto corpúsculo; para Faraday y Maxwell una onda electromagnética; para Einstein, un “cuanto” de energía que se comporta como una partícula o como una onda según el fenómeno observado.

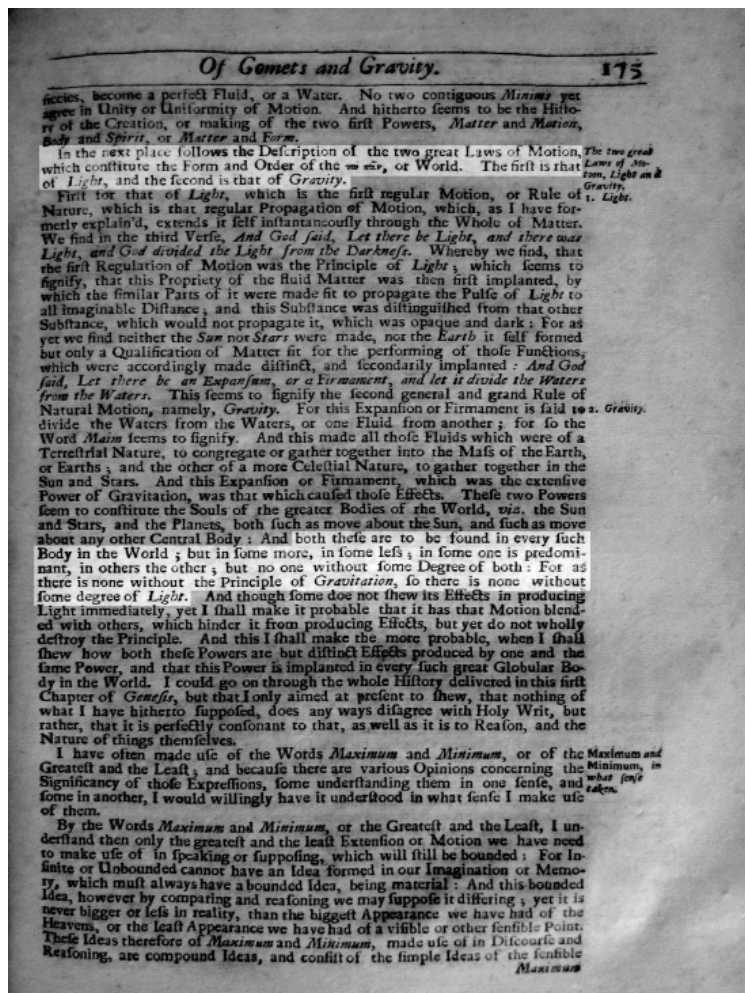
La investigación sobre la evolución histórica de la comprensión física de la gravedad y de la luz, una investigación más propia de la historiografía de la física que del ámbito del proyecto arquitectónico, se constituye como otra de las aportaciones fundamentales de la presente tesis doctoral, pues no existe ningún trabajo que aúne ambas realidades físicas, algo realmente sorprendente cuando se constata que todos los grandes físicos de la historia se han ocupado de ambas cuestiones al mismo tiempo.

En efecto, la gravedad y la luz se han concebido siempre como realidades físicas contrapuestas pero complementarias. La luz se relaciona con lo ígneo y lo etéreo; la gravedad, con lo térreo y lo telúrico. La luz se asocia con la diaphanidad y la transparencia; la gravedad, con la opacidad y la oscuridad. La luz se vincula a la ligereza y la levedad; la gravedad está íntimamente vinculada a la pesantez. La luz se asocia con una idea de separación de la materia; la gravedad, con una idea de unión. A la luz se le supone una cantidad ínfima de materia y de masa; la gravedad se percibe sólo en los cuerpos con grandes concentraciones de materia y de masa. La interacción electromagnética es muy fuerte pero las masas que interactúan son ínfimas; la interacción gravitatoria es muy débil pero las masas que interactúan son enormes. La intensidad de la luz solar en la Tierra es mayor en el ecuador que en los polos; la intensidad de la gravedad en la Tierra es un poco mayor en los polos que en el ecuador. A la luz le corresponde un movimiento rectilíneo con velocidad uniforme; la gravedad está asociada a la aceleración y la curvatura. La arquitectura no ha sido nunca ajena a esta dicotomía entre la gravedad y la luz.

3. LA ESTRUCTURACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO POR LA GRAVEDAD Y LA LUZ

La investigación desarrollada en el apartado anterior, en principio totalmente ajena al ámbito de la arquitectura, resulta ser decisiva en el desarrollo posterior de la tesis. Además de aportar una base científica sobre la que apoyar una especulación arquitectónica, a medida que iba avanzando la investigación se iban advirtiendo ciertas interrelaciones entre las sucesivas representaciones científicas en torno a ambos fenómenos y las distintas maneras de concebir el espacio a lo largo de la historia. Así, esta tercera parte de la tesis se impone como objetivo el análisis de las estrategias proyectuales empleadas en la manipulación arquitectónica de la interacción estructural entre la gravedad y la luz con fines espaciales, ahondando para ello en las posibles interrelaciones entre la manera de comprender los fenómenos de la gravedad y la luz y el modo de manipularlos arquitectónicamente.

Este análisis se fundamenta en una particular interpretación del autor de la teoría que Sigfried Giedion elabora sobre las distintas concepciones espaciales que se



"A continuación sigue la descripción de las dos grandes Leyes del Movimiento, que constituyen la Forma y el Orden del Mundo. La primera es la de la Luz, y la segunda la de la Gravedad. (...) Y ambas pueden ser encontradas en cada Cuerpo del Mundo: en unos más, en otros menos; en unos una es la predominante, en otros predomina la otra; pero no hay ninguno sin algún Grado de ambos: Así como no hay ninguno sin el Principio de Gravitación, tampoco hay ninguno sin algún grado de Luz".

"A Discourse of the Nature of Comets. Read at the Meetings of the Royal Society, soon after Michaelmas 1682", en HOOKE, Robert: WALLER, Richard (ed): The posthumous works of Robert HOOKE. London: Sam. Smith & Benj. Walford, 1705, p. 175 (líneas 5-7 y 32-36). Fotografía del autor.

han sucedido a lo largo de la historia. Se identifican cuatro concepciones espaciales que se distinguen por su condición interior y/o exterior, de acuerdo con la relación que se establece entre la luz y la sombra en la configuración del espacio arquitectónico: la primera concepción identifica al espacio con el exterior; la segunda concepción espacial relaciona el hecho arquitectónico con la idea de interior; en la tercera etapa el espacio interior se exterioriza desde un punto de vista lumínico; por último, la cuarta concepción espacial mantiene la identidad del espacio interior a la vez que lo pone en continuidad con el exterior. El carácter de cada espacio viene definido por su estructura, cuya constitución responde tanto al desarrollo tecnológico como a la comprensión conceptual propia de cada momento histórico del fenómeno gravitatorio en tanto que hecho físico. La estructura arquitectónica trasciende así su ineludible función estático-resistente y su inherente condición físico-material, para convertirse, por medio de su opacidad y pesantez, en el vínculo común a la forma y la materia que, haciendo interactuar a la gravedad con la luz, hace posible la construcción del espacio.

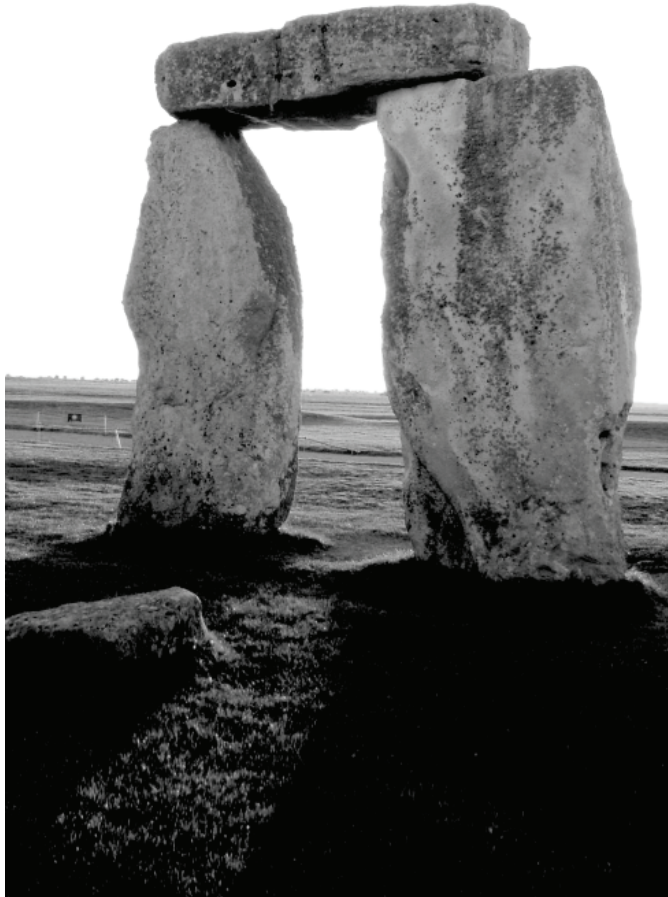
En aras de una mayor claridad expositiva, el estudio de la relación estructural entre la gravedad y la luz que caracteriza a cada una de las cuatro concepciones espaciales identificadas se ha acotado y vehiculado a través del análisis de una obra maestra de la arquitectura que, más allá de sus particularidades concretas, se constituye en ejemplo paradigmático de una determinada manera de manipular arquitectónicamente la interacción física entre la gravedad y la luz a través de la estructura. Estas cuatro obras son: el Stonehenge de Salisbury, el Pantheon de Roma, el Palais des Machines de la Exposición Universal de París de 1889 y la Neue Nationalgalerie de Berlín.

3.1. La resistencia a la gravedad y la oposición a la luz en la estructuración del espacio exterior

La arquitectura de la primera concepción espacial, desde la prehistoria hasta las grandes civilizaciones antiguas, se desarrolla en base a una comprensión del mundo totalmente intuitiva, ya que la física como forma objetiva del conocimiento humano no aparece hasta prácticamente el final de esta etapa de manos de los filósofos griegos.

Igual que el resto de sus contemporáneos, Aristóteles -el filósofo que tuvo mayor influencia durante el milenio y medio posterior- no identifica la gravedad como una ley natural, sino que la confunde con sus manifestaciones más elementales, los fenómenos de la caída y el peso, dos estados distintos del movimiento natural de la materia grave: la primera en acto y el segundo en potencia. El fenómeno de la caída se explica como el movimiento natural de los cuerpos pesados hacia su lugar propio, el centro de la tierra, siguiendo siempre la línea que une el cuerpo con el centro del mundo, una dirección que identificamos con la noción de vertical. El fenómeno del peso aparece precisamente cuando esta tendencia natural a la caída de los cuerpos pesados se ve impedida por algún motivo. Señala Aristóteles que este movimiento natural sólo se produce en la dirección vertical, siendo el movimiento horizontal originado por la acción de algún agente externo.

Desde el más tosco trilito prehistórico hasta el más refinado pórtico griego, aún con anterioridad a cualquier formulación teórica, se expresa esta contraposición entre la inherente verticalidad de la gravedad y la artificiosa horizontalidad de la



Stonehenge. Salisbury, Reino Unido, 3.100 - 1.100 a.C.

cubrición. El soporte, vertical, resiste el peso de la gravedad; la cubierta, horizontal, se resiste a su tendencia natural a la caída. La estructura de esta primera concepción espacial es una estructura resistente, en tanto que intenta oponer resistencia a la fuerza de la gravedad. La preferencia de esta primera concepción espacial por el espacio exterior, un espacio por definición descubierto, podría explicarse por la dificultad estructural que plantea la cubrición del espacio. De hecho, el sentido original de la estructura adintelada de esta primera concepción espacial no reside en la posibilidad de cubrir un espacio interior, sino en su capacidad de formalizar los límites que configuran el espacio exterior.

Al oponerse con su opacidad al paso de la luz a través de su masa, la estructura proyecta en el paisaje iluminado por el sol una sombra cambiante, que dota al lugar de una determinada orientación. La arquitectura de esta primera concepción espacial establece así una estrecha relación entre el sol y la forma construida, reconociendo en su orientación la imposibilidad de actuar sobre el rayo solar que incide sobre el objeto arquitectónico. En tanto que exterior y descubierto, el espacio de esta primera concepción espacial se configura por medio de un juego de sombras proyectadas en un fondo completamente iluminado por la luz del Sol.

La unidad arquitrabada propia de esta concepción espacial expresa así su superioridad frente al muro pues, además de resistir los efectos de la gravedad, supera su inherente condición opaca para abrir paso a la luz, enmarcando una porción de luz solar que se distingue de la que rodea a la sombra proyectada. Nace así la noción de "luz estructural", una cuestión arquitectónica de vital importancia que se refiere, al mismo tiempo, al espacio libre entre dos apoyos gravitatorios y a la luz que habita entre ellos. Esta contraposición se advierte, también, en la cosmología elemental aristotélica: allí donde hay materia se manifiesta el peso de la gravedad y se priva la existencia de la luz, mientras que allí donde la materia deja paso al espacio desaparece el peso y se hace la luz.

3.2. El encauzamiento de la gravedad y la interiorización de la luz en la estructuración del espacio interior

Los romanos fueron los primeros en distinguir la ley de la gravedad del fenómeno del peso, la *gravitas* del *pondus*, identificando a la primera como la causa del segundo, un hecho de notable importancia en tanto que las culturas anteriores, incluso las más aventajadas -como la griega-, no fueron capaces de realizar esta importante distinción conceptual.

Aunque durante varios siglos los romanos se limitaron a reproducir el conocimiento físico elaborado por los filósofos griegos, durante la primera época imperial resurgió el interés por los temas físicos. Como consecuencia de ello, algunos filósofos romanos pusieron en cuestión determinadas teorías griegas, como por ejemplo la explicación aristotélica de la naturaleza y el movimiento de los cuerpos celestes. Interesa aquí la obra de Plutarco, quien, contraviniendo a la física aristotélica, propuso que la causa de la esfericidad y el movimiento circular de los planetas debía de ser la misma que la que impelía a los cuerpos pesados a caer hacia el suelo. Así, mientras que para Aristóteles los movimientos circulares de los cuerpos celestes no tenían ninguna relación con las leyes físicas que regían el movimiento natural -siempre vertical y rectilíneo- de los cuerpos de acuerdo con



Pantheon. Roma, Italia, 128 d.C.

su grado de pesantez o ligereza, Plutarco incluyó a la órbita circular y la esfericidad planetaria en lo que milenio y medio se identificaría con la noción de gravedad.

Sin embargo, el declive de la hegemonía romana frenó el desarrollo del conocimiento científico y, durante milenio y medio, no se produjo apenas ningún avance. Ya en el siglo XVII, Galileo descubrió la trayectoria parabólica de los proyectiles terrestres, Kepler describió la órbita elíptica de los planetas y Newton demostró, con su Ley de Gravitación Universal, que el origen y la causa de estos movimientos curvos tanto terrestres como celestes era la gravedad.

La intuición romana de la curva inherente a la gravedad indujo a considerar la conveniencia de introducir una cierta curvatura en la cubrición estructural del espacio. A tal efecto, cabe señalar que la gran cúpula del Pantheon de Adriano, la obra que según Giedion inaugura el nacimiento de esta segunda concepción espacial, empezó a construirse en el año 118 d.C., aproximadamente dos décadas después de que Plutarco pusiera en crisis la teoría aristotélica y sentase las bases de un nuevo modo de entender la gravedad. En tanto que Plutarco fue nombrado cónsul por el emperador Adriano, parece lícito advertir una relación más causal que casual entre la utilización de las formas estructurales curvas que hacen posible la construcción de grandes espacios interiores y el nacimiento de nueva intuición sobre la naturaleza física de la gravedad.

La estructura arquitrabada, una estructura que se esfuerza por resistir los efectos de la gravedad, deja paso a las formas estructurales curvas como el arco de descarga, la bóveda o la cúpula, en las que la traslación horizontal de las cargas hacia los soportes verticales se produce de un modo progresivo, describiendo una directriz curva. No se trata ya de luchar contra la gravedad ni de oponer resistencia a sus efectos sino, más bien, de encauzarla asumiendo la cualidad masiva de la arquitectura, la condición ineludible del peso y la amenaza eterna de la caída, como cuestiones inherentes a la construcción del espacio. La tendencia a la caída de la materia que conforma la cubrición comprime la masa y fija su posición, quedando garantizada su estabilidad por geometría y cohesión interna. Por su parte, la concentración de peso en la parte inferior de la estructura contribuye a contrarrestar el empuje horizontal que la cubrición curva transmite al soporte. Antaño considerados como una amenaza para el hecho constructivo, el peso y la caída devienen ahora en garantía de estabilidad estática de las formas estructurales abovedadas de cubrición espacial. En la posibilidad de cubrir grandes espacios con cierta solvencia y la necesidad de disponer de masivos soportes a fin de contrarrestar los empujes laterales reside la preferencia de esta segunda concepción espacial por el espacio interior.

Por medio de su masa, estas formas estructurales portan, cierran y cubren un espacio introvertido y aislado de su contexto inmediato. Por medio de su opacidad la estructura construye una sombra en la que, convenientemente manipulada, se manifiesta la luz solar. Materialmente opaca y gravitatoriamente ineludible, con su sola presencia la estructura se convierte en el primer y más importante elemento de control de la relación entre la luz y la sombra en la configuración del espacio. La masa no sólo porta, cierra y cubre el espacio, sino que controla con precisión la luz que lo configura. La construcción precisa de esta luz, propia y apropiada a cada espacio, deviene a partir de este momento en motivo y fin último del hecho arquitectónico.

3.3. La victoria de la luz sobre la gravedad en la estructuración del espacio interior exteriorizado



Palais des Machines. París, Francia, 1889-1910.

La tercera concepción espacial se desarrolla durante el siglo XIX, al mismo tiempo que se cuestiona la validez de la física newtoniana. En 1831 Faraday describe el fenómeno electromagnético sin recurrir a la noción de fuerza a distancia de Newton, lo que evidencia la artificiosidad de un concepto que había sido puesto en duda ya a finales del siglo XVII. De hecho, el propio Newton reconoció en las revisiones posteriores a su primera edición de los *Principia* la necesidad de fundamentar su teoría sobre la gravitación en algo más sólido que unas misteriosas fuerzas a distancia y elaboró una explicación complementaria en la que fundamentaba el origen de dichas fuerzas en la existencia del éter. Pero en 1887 Michelson y Morley publicaron los resultados de unos experimentos sobre la luz en los que se descubrió, con meridiana claridad, que el éter no existe: la gravitación universal de Newton quedó así invalidada de raíz, sin que se vislumbrase teoría alternativa alguna.

Esta crisis en la conceptualización de la gravedad como hecho físico afectó también al ámbito de la arquitectura, que puso en duda los principales atributos gravitatorios que hasta entonces habían caracterizado a la estructura: la necesidad del peso y la condición del apoyo.

La capacidad del hierro de concentrar grandes esfuerzos en secciones muy reducidas, junto a su óptimo comportamiento mecánico tanto a compresión como a tracción, indujo a buscar una nueva forma estructural. Aprovechando la noción matemática de vector desarrollada en el siglo XVII, el peso propio, las sobrecargas y las reacciones de la estructura se conceptualizan como fuerzas vectoriales que se transmiten a través de los elementos estructurales. Trascendiendo su condición abstracta, el cálculo se adentra en el ámbito de la forma al identificar cada uno de los vectores que actúan sobre la estructura con una barra metálica. Se abandona la idea de estructura como un conjunto de elementos masivos, pesantes y de una cierta dimensión que soportan a compresión la acción de la gravedad por medio de la sección y la forma, para dar paso a una nueva concepción estructural basada en la acción solidaria de una gran cantidad de barras o elementos cortos, rígidos, rectos y de mínima sección, en los que la tracción deviene un esfuerzo fundamental. La masa deja paso entonces a la línea, lo que se traduce al mismo tiempo en una disminución real y aparente del peso de la estructura: es posible construir cada vez más espacio con menos gravedad sin apenas esfuerzo.

La introducción de articulaciones y contactos tangenciales en lugar del simple apoyo horizontal altera la clásica relación tectónica entre carga y soporte, permitiendo que estructuras enormes aparenten descansar delicadamente sobre el suelo o simulan mantenerse ingravidamente suspendidas en el aire. En tanto que la ponderación visual de la pesantez de cualquier cubrición estructural se establece inconscientemente en relación a la robustez del soporte, presuponiendo su sección proporcional a la carga y considerando la masividad de su parte inferior como una garantía de estabilidad, la minimización del soporte decimonónico contribuye al aligeramiento aparente de la estructura en su conjunto.

La sustitución de la masa por la línea permite inundar de luz el espacio arquitectónico. Esta sed irrefrenable de luz, sin precedentes en la historia de la arquitectura, coincide en el tiempo con la invalidación de la condición etéreo-corpúscular de la luz newtoniana a favor de la formulación ondulatorio-electromagnética de Faraday y Maxwell.



Neue Nationalgalerie. Berlín, Alemania, 1968.

Cuestiones tan importantes como la “luz estructural” o la reciprocidad entre ligereza y luminosidad ven modificado su significado. La idea de ligereza adquiere en la estructura metálica un significado pleno, pues no sólo alude a la disminución real del peso de la construcción, sino que hace referencia también a la abundancia de luz. Su doble condición diáfana -en tanto que libre de soportes y lumínicamente transitiva- la convierte en una estructura *de gran luz*, en la que la luz no pasa sólo por entre los apoyos, sino que penetra también por entre las barras que conforman los propios elementos estructurales.

Por otra parte, el encauzamiento de la gravedad por medio de líneas de fuerza en celosía hace que la estructura deje de ser un límite infranqueable de contención espacial y oposición lumínica. El espacio ya no se encuentra encerrado en el interior de la masa sino que, en total transividad visual y lumínica con el exterior, se abre y se expande más allá de los delgados elementos que lo definen. Antaño configurado por una luz confinada en una sombra interior, el espacio se ve inundado ahora por una luz procedente directamente del exterior. Construido en base a la cantidad y no a la cualidad, el espacio se inunda de luz y, sin posibilidad de construir sombra alguna, la orientación pierde su histórica importancia. El espacio de esta tercera concepción espacial deviene así en un interior lumínicamente exterior.

La necesidad de proteger el espacio arquitectónico de los agentes atmosféricos exteriores hace necesaria la participación de un elemento constructivo ajeno al sistema portante: el cerramiento. En el siglo XIX el material capaz de proteger el espacio del exterior sin comprometer su cualidad lumínica es el vidrio. La luz solidificada en el cristal transparente contiene y protege al espacio de todos los agentes exteriores menos de sí misma.

3.4. La abstracción de la gravedad y la levedad de la luz en la estructuración del espacio interior en continuidad con el exterior

Tras un siglo de incertidumbre en la representación física de la naturaleza de la gravedad, a principios del siglo XX Albert Einstein propone un nuevo y revolucionario modo de conceptualizar el espacio y la gravedad. Gracias a las vanguardias artísticas europeas de principios de siglo, por vez primera en la historia el trasvase del nuevo conocimiento científico al ámbito de la arquitectura se produce de un modo consciente, dando lugar a la cuarta concepción del espacio arquitectónico.

La estructura reticular en esqueleto se convierte en el sistema estructural que hace posible una nueva concepción espacial. No en vano, Le Corbusier patenta su estructura Dom-Inó en 1915, sólo un año antes de que, tras una década de intensa investigación, Einstein publique su famosa teoría de la relatividad general.

La estructura reticular se caracteriza por definir el espacio moderno -continuo, homogéneo e isótropo- únicamente por medio de dos planos horizontales, el de suelo y el de techo. A fin de garantizar esta continuidad horizontal, la presencia de los elementos verticales de soporte y compartimentación se minimiza al máximo. El muro portante opaco se transforma en cerramiento transparente. El límite entre interior y exterior deja de ser algo definido para convertirse en un espacio intermedio que, sin pertenecer propiamente al interior o al exterior, participa de ambos al mismo tiempo a fin de cerrar sin confinar, de delimitar sin limitar. Por su parte, las paredes interiores se

convierten en tabiques sin función portante y los soportes, puntuales, se minimizan en número y sección.

Por medio de la teoría de la relatividad general, Einstein presenta la gravedad como la ley fundamental que rige la relación de la masa de la materia con la estructura del espacio. Despojada de la visión newtoniana de la gravitación, según la cual la gravedad se representa como una fuerza de atracción mutua entre masas a través del espacio, la gravitación einsteiniana descansa sobre dos ideas fundamentales: la curvatura del espacio-tiempo por acción de la masa y la flotación libre de la masa en el espacio-tiempo. Einstein asocia la caída de los cuerpos graves con la flotación libre y despoja con ello al peso de su ancestral origen gravitatorio, relacionándolo exclusivamente con la física del estado sólido y la elasticidad de la materia. Contraviniendo los preceptos de la física clásica, según los cuales la flotación se da en ausencia de peso, en la teoría einsteiniana la noción de peso aparece, precisamente, cuando se impide la flotación. En la física moderna la gravitación sustituye a la pesantez por la levedad y a la caída por la flotación.

La arquitectura moderna incorpora esta leve gravitación a una forma estructural que, por medio de la abstracción, se despoja de cualquier elemento tectónico que pueda hacer referencia a una idea clásica de la gravedad. Ya no se trata de oponerse a la pesantez por medio de la ligereza, sino de negarla por medio de la levedad -distinguiendo aquí lo ligero como poco pesante y lo liviano como totalmente carente de peso-. La planeidad de la cubrición moderna responde a la voluntad de hacer desaparecer a la gravedad de la forma estructural, en tanto que durante milenio y medio la arquitectura había encontrado en la inherente curvatura de la gravedad la solución al problema gravitatorio de la cubrición espacial. La ausencia de signos que revelen su naturaleza estructural, la ambigüedad –cuando no ocultación- de su verdadera constitución material y la aparente facilidad con que la tecnología moderna permiten resolver la cubrición de grandes superficies, permite abstraer a la cubierta plana del peso de la gravedad clásica. La dualidad geométrica que se establece entre los dos planos de suelo y techo que conforman el espacio moderno no hace más que contribuir a la anulación del vector vertical descendente tradicionalmente asociado a lo gravitatorio.

La reflexión teórica de Albert Einstein sobre la naturaleza dual de la luz –a la vez ondulatoria y corpuscular- difícilmente puede encuadrarse en la experiencia sensible cotidiana del fenómeno luminoso, una circunstancia que dificulta su implementación en el ámbito del arte. Sin embargo, la arquitectura moderna, cuyo origen geográfico se localiza en el norte de Europa, encuentra en la luz nórdica esa luz natural, suave, difusa, indirecta, adireccional, densa y homogénea que expresa el ideal abstracto de la luz representada en las obras pictóricas vanguardistas. El objetivo de la arquitectura moderna en relación a la luz consiste en conseguir construir esa luz abstracta, tanto en lo físico como en lo artístico, con independencia de las condiciones lumínicas del emplazamiento y de la orientación concreta del espacio.

El plano horizontal de la cubierta ya no tiene como misión la construcción de una sombra, sino la abstracción de la luz solar exterior de sus propiedades físico-geométricas más elementales -a saber, su natural dirección vertical y su capacidad de generar sombra- a fin de transformarla en una neutra claridad interior. Por su parte, la transparencia del cerramiento vertical hace posible la transición continua entre la intensa luz solar exterior y la suave penumbra que conforma el interior. Sumido en una luz sin sombra ni dirección, el espacio mismo y los objetos en él contenidos adquieren ese carácter leve propio de las representaciones pictóricas vanguardistas. El espacio

moderno no encuentra su razón de ser en la sombra, sino en una suave luz sin dirección que, anulando toda sombra, alude a una leve claridad.

El espacio moderno no se constriñe en un interior, sino que se abre y se expande al exterior sin perder su carácter interior, combinando así la transitividad y la apertura propias del siglo XIX con la dicotomía espacial entre interior y exterior que caracteriza a las etapas anteriores.

4. Conclusiones

Desde sus inicios, la arquitectura ha representado la contraposición entre la gravedad y la luz de maneras muy distintas, unas veces enfatizándola, otras subvirtiéndola, subrayando o atenuando por medio de la luz o la sombra la acción aparente de la gravedad sobre la materia. Pero, más importantes que las consecuencias perceptivas de esta manipulación arquitectónica, son sus consecuencias espaciales: el carácter del espacio arquitectónico depende, en gran medida, de los términos en que se produce la interacción físico-material entre la gravedad y la luz a través del elemento estructural. En este sentido, la evolución de la arquitectura podría explicarse como el desplazamiento del protagonismo de la gravedad hacia la primacía de la luz, pues a lo largo de la historia la arquitectura ha aspirado siempre a construir más espacio con menos gravedad y más luz.

La investigación realizada expone una serie de indicios que señalan una evidente correlación, más causal que casual, entre el modo de estructurar el espacio arquitectónico a través del tiempo y la evolución del conocimiento científico en torno a la gravedad y la luz a lo largo de la historia. La exposición de los términos en que se ha producido la influencia de este conocimiento científico en la manipulación arquitectónica de ambos fenómenos físicos se constituye, sin lugar a dudas, en la más importante y original aportación de esta investigación, no tanto por su condición estrictamente teórica, sino por la posibilidad de ser empleada como herramienta proyectual.

No obstante, cabe señalar que, si bien es cierto que la presente investigación pone en evidencia la correspondencia existente entre la evolución histórica de la comprensión física de la gravedad y el modo de manipularla arquitectónicamente a través de los distintos tipos estructurales que se han sucedido a lo largo del tiempo, no ha sido posible hallar una correlación tan evidente entre la representación científica de la luz y su manipulación arquitectónica. Esta diferencia se debe fundamentalmente al distinto modo en que ha evolucionado el conocimiento científico de ambas realidades físicas. Tal como se apuntaba anteriormente, la historia de la gravedad se construye a base de grandes teorías físicas, muy claras y muy definidas en el tiempo, que conceptualmente concuerdan con los tipos estructurales que hacen posible la construcción de las sucesivas concepciones espaciales arquitectónicas. En cambio, la dificultad de conceptualizar la naturaleza física de la luz ha provocado que su evolución histórica sea mucho más confusa, conviviendo durante largos periodos de tiempo teorías tan distintas como distantes. Ello ha dificultado la translación del conocimiento científico sobre la luz al diseño arquitectónico, que ha intentado suplir esta ausencia interpretando el significado de la luz desde otros ámbitos (como la metafísica, el funcionalismo, etc.).

Sin embargo, tal como se desprende del análisis realizado sobre las teorías

	ESPACIO	ESTRUCTURA	GRAVEDAD	LUZ
Primera concepción espacial	Espacio Exterior	Estructura Adintelada -resistente-	Pesantez -Aristóteles-	Sombras en la luz
Segunda concepción espacial	Espacio Interior	Estructura Abovedada -portante-	Curvatura -Plutarco/Newton-	Luces en la sombra
Tercera concepción espacial	Espacio Interior Exteriorizado	Estructura en Celosía -lineal-	Ligereza -Crisis s. XIX-	Luz sin sombra
Cuarta concepción espacial	Espacio Interior en continuidad con el Exterior	Estructura Reticular -bandejas-	Levedad -Einstein-	Sombra abierta a la luz
Próxima concepción espacial	?	?	?	?

elaboradas por los físicos más importantes de la historia, aún cuando sus autores no reconocen explícitamente ninguna vinculación entre ambas realidades físicas, los estudios científicos sobre la gravedad y la luz se han influenciado mutuamente, ni que fuera por la necesidad de convivir coherentemente en la misma concepción cosmológica elaborada por su autor. Valga como ejemplo Newton, quien modificó su teoría sobre la gravedad al desarrollar su teoría corpuscular de la luz, o Einstein, cuya teoría sobre la gravitación -la relatividad general- se elaboró como una generalización de su teoría sobre la luz -la relatividad restringida-.

Esta investigación sobre la evolución de la física y la arquitectura en el pasado debería servir para estimular la reflexión sobre el futuro de la arquitectura. Actualmente la gravedad se explica por las leyes de la relatividad general, mientras que la interacción electromagnética, donde se incluye la luz, se describe por medio de la física cuántica. Ambas teorías son consistentes en sí mismas, pero se descubren incompatibles cuando tienen que describir conjuntamente fenómenos que aúnan al mismo tiempo lo gravitatorio y lo electromagnético, como es el caso, tal como señaló Stephen Hawking, de los agujeros negros. Es por ello que ya el propio Einstein empezó a trabajar en la unificación de las teorías sobre ambos fenómenos, una labor aún hoy inconclusa.

En el ámbito de la arquitectura esta voluntad de unificación parece tener su expresión más evidente en el auge de las estructuras transparentes. Con ello, por primera vez en la historia de la arquitectura, la materia que ordena los efectos de la gravedad en la construcción del espacio no se opone necesariamente al paso de la luz, hecho que sin duda inaugura una nueva manera de plantear la interacción espacio-estructural entre ambos fenómenos. Ello permite superar la histórica dicotomía entre luz y gravedad, tanto física como arquitectónica, haciendo posible que la luz y la gravedad puedan interactuar al mismo tiempo sobre una misma materia sin que la una excluya necesariamente a la otra. Sin embargo, con toda probabilidad, la transparencia por la transparencia no aportará ningún valor nuevo a la arquitectura; será necesario importar nuevas ideas sobre la gravedad y sobre la luz desde el ámbito de la física a la hora de plantear un nuevo modo de configurar el espacio arquitectónico, tanto en su condición interior como exterior.

A punto de celebrar el centenario de la formulación de la relatividad general con que Einstein describió la gravitación, y a sabiendas de los enormes esfuerzos que la comunidad científica dedica a la unificación de la gravedad y de la luz, es fundamental que los arquitectos permanezcan atentos a cualquier avance de la física: de acuerdo con la investigación realizada, en la próxima gran teoría sobre la gravedad y la luz podría encontrarse el germen de una nueva manera de concebir el espacio arquitectónico.

Propuesta de reelaboración de la tesis en caso de ser admitida para su publicación

Tanto la estructura como la extensión de la tesis responden adecuadamente a una investigación doctoral, pero no se ajustan a los parámetros que rigen las publicaciones de la colección Arquithesis. Es por ello que, en caso de publicarse, sería necesario sintetizar y reordenar los contenidos de la misma, resumiendo en unos casos y eliminando en otros algunas partes del texto original. Lejos de mutilar los contenidos de la investigación, este proceso de síntesis, análogo al que exige el acto de lectura de la tesis, contribuiría a exponer con mayor concisión, claridad e intensidad, los contenidos fundamentales de la investigación realizada.

El índice original se vería reordenado de la forma que sigue a continuación, dando lugar a una publicación de unas 250 páginas:

Introducción

Orígenes y principios del interés arquitectónico por la gravedad y la luz

La naturaleza física de la gravedad y la luz

Una historia entre la física y la arquitectura

La verticalidad del peso y el problema de la cubrición espacial Orientación estructural de la sombra exterior

La curva gravitatoria como garantía del espacio interior La luz interior como presencia espacial y ausencia gravitatoria

La ligereza como gravedad superada El descubrimiento de una nueva luz

La levedad como abstracción de la gravedad La abstracción lumínica del espacio continuo

¿Hacia la transparencia estructural?

Bibliografía

Créditos de las ilustraciones

A continuación se explican los contenidos de cada uno de los puntos propuestos:

Introducción

Breve introducción que debe servir para presentar sucintamente el tema objeto de estudio.

Se prevé una extensión de 8 páginas.

Orígenes y principios del interés arquitectónico por la gravedad y la luz

En este apartado se propone reastrear de manera muy resumida el origen histórico del interés arquitectónico por la gravedad y la luz, desde el tratado de Vitruvio hasta la obra escrita de algunos arquitectos contemporáneos, pasando por los escritos incompletos de Wren, la filosofía de Schopenhauer y las especulaciones conceptuales y formales de las vanguardias artísticas del siglo XX. Además de demostrar que este interés no es algo nuevo, sino que viene de antiguo, esta breve exposición permite señalar los tres principios conceptuales que comparten todos los autores analizados: 1) que la gravedad y la luz no son dos realidades autónomas sino cuestiones íntimamente relacionadas, 2) que ha existido siempre un evidente interés por el conocimiento científico de ambos fenómenos desde el ámbito de la arquitectura y 3) que ambos fenómenos interaccionan entre sí en el objeto arquitectónico a través del elemento estructural.

Se prevé una extensión de 18 páginas.

La naturaleza física de la gravedad y la luz

Este breve apartado nace de la constatación de que, pese a señalar a la gravedad y la luz como temas fundamentales de la arquitectura, la teoría arquitectónica es incapaz de describir su naturaleza. A fin de suplir este déficit conceptual, se expone de manera sencilla y breve la evolución histórica de la conceptualización científica de la gravedad y de la luz por separado, señalando sus diferencias historiográficas como su interacción física.

Se prevé una extensión de 18 páginas.

Una historia entre la física y la arquitectura

En este apartado se presentará, convenientemente reformulada, la interpretación de Sigfried Giedion de la historia de la arquitectura como una sucesión de distintas maneras de concebir el espacio. El interés por esta teoría reside en la posibilidad de establecer vínculos y correlaciones entre la evolución histórica de la noción de espacio en arquitectura y la representación científica de la gravedad y de la luz a lo largo del tiempo. Este apartado sirve de introducción a los que le siguen.

Se prevé una extensión de 24 páginas.

La verticalidad del peso y el problema de la cubrición espacial Orientación estructural de la sombra exterior

La curva gravitatoria como garantía del espacio interior La luz interior como presencia espacial y ausencia gravitatoria

La ligereza como gravedad superada El descubrimiento de una nueva luz

La levedad como abstracción de la gravedad La abstracción lumínica del espacio continuo

Estos ocho apartados están agrupados de dos en dos. Cada pareja se refiere a una de las cuatro concepciones espaciales señaladas en el apartado anterior. En cada caso se analizan las estrategias proyectuales destinadas a estructurar el espacio arquitectónico por medio de la gravedad o de la luz, haciéndose especial hincapié en la relación cronológica y conceptual entre las estrategias proyectuales estudiadas y las representaciones científicas de cada momento histórico. El pretendido carácter universal de este análisis hace desaconsejable la referencia explícita en el texto a ninguna obra o proyecto concretos (incluidas las cuatro obras utilizadas en la tesis original). No obstante, sí parece conveniente el empleo de fotografías y dibujos de ciertas obras -además de las cuatro a las que se hacía referencia líneas arriba- que sirvan para ilustrar el discurso.

Se prevé una extensión media de unas 22 páginas para cada apartado, que suman un total de 176 páginas.

¿Hacia la transparencia estructural?

Este apartado no sólo sirve para exponer de manera sintética los rasgos diferenciales de las cuatro concepciones espaciales analizadas en los ocho apartados anteriores, sino que plantea un final abierto: ¿debemos ver en las incipientes estructuras transparentes, en las que por primera vez en la historia de la arquitectura conviven en un mismo elemento la gravedad y la luz, el germen de una nueva concepción espacial fundamentada en una futura teoría científica llamada a unificar la relatividad general -que describe la gravedad- y la física cuántica -que describe la luz-?

Se prevé una extensión de entre 16 páginas.

Extensión total prevista: 260 páginas.