

Mercurio Volante



DESTELLOS SONOROS en Gaudí

28

SUPLEMENTO ESPECIAL

hipócritalector

Año II, Junio 2024

LA MEMORIA DEL HIELO

GERARDO HERRERA CORRAL

Uno de los más famosos incipit de todos los tiempos dice:

“Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía habría de recordar aquella tarde remota en que su padre lo llevó a conocer el hielo”.

La historia detrás de estas gloriosas líneas en el libro *Cien años de soledad* comienza mucho antes, en los lagos congelados de Saugus, un pueblo de Massachussets, Estados Unidos. Y aunque Aureliano Buendía nunca lo supo, aquel “diamante” que traían los gitanos para ponerlos frente a los asombrados ojos de Macondo bien pudo ser un pedazo de los lagos congelados que llegaban en bergantines a las costas del caribe.

“El 10 de febrero de 1806 Frederic Tudor se hizo a la mar con un barco lleno de agua”. Salió de Boston con dirección a Saint Pierre en Martinica, una isla del mar Caribe que conforma las Antillas, ese cordón de islas que se extiende como un arco dibujando la media luna desde el noreste de la península de Yucatán hasta la costa oriental de Venezuela.



Los grandes bloques de hielo cortado de los lagos quedarían registrados en los libros de la aduana en Martinica con una leyenda que dice:

“Un buque ha pasado por la aduana de Martinica con un cargamento de hielo”

Y añade:

“Esperamos que esto no acabe como especulación resbaladiza”.

Dicho empresario confió entonces que algo de las 130 toneladas de hielo con las que comenzó el viaje de tres semanas quedaría para la venta cuando llegara al puerto caribeño.

En Cuba y Martinica la venta de agua congelada proveniente de Nueva Inglaterra fue un fracaso rotundo con el primer viaje, pero con el tiempo y algunas adecuaciones la empresa acabaría generando riqueza por muchos años.

Resulta curioso que ahora el hielo viaje en la dirección opuesta. En aquellos tiempos se cosechaba de los lagos en el norte de los Estados Unidos para luego ser transportado en barco a los muelles caribeños, y no es impensable que se internara envuelto en aserrín y paja para llegar al mítico pueblo Macondo.

Pero ahora un equipo internacional de científicos está llevando hielo de los glaciares andinos a la antártica. El grupo de expertos transportó un pedazo de la gigantesca masa de hielo illimani que se ubica cerca de La Paz, Bolivia, a lo que será un gélido archivo donde se coleccionarán muestras de hielo provenientes de los glaciares del mundo.

El glaciar Illimani tiene acumulados 18 mil años de historia en las capas que lo constituyen. Los glaciólogos tomaron dos columnas de hielo de una longitud de más de 130 metros de largo y esperan poder estudiar con eso la historia del clima y las propiedades de la atmósfera a lo largo de los siglos.



El proyecto se llama “Memorias del hielo” y se propone estudiar y preservar hielo de todo el mundo por si este llegara a desaparecer de las montañas.

El glaciar Illimani tiene acumulados 18 mil años de historia en las capas que lo constituyen. Los glaciólogos tomaron dos columnas de hielo de una longitud de más de 130 metros de largo y esperan poder estudiar con eso la historia del clima y las propiedades de la atmósfera a lo largo de los siglos.

Esta fue la segunda muestra porque ya antes el equipo francés recolectó un poco de hielo de Mont Blanc en los Alpes; también se tienen muestras de glaciares de Rusia y Nepal.

Todos serán transportados a la Concordia, base científica franco italiana de la Antártida que se encuentra a 54 grados bajo cero.



Las burbujas de aire atrapado a gran profundidad en las oquedades del hielo ofrecen la posibilidad de explorar la composición de la atmósfera al momento en que se formó lámina por lámina.

Ahí se podrían encontrar microorganismos desconocidos, depósitos de mineral que revelen las condiciones cuando apareció el sustrato, isótopos radiactivos que dan diferentes informaciones, datos sobre precipitaciones, incendios forestales, vegetación, registro de aerosoles en la etapa preindustrial, entre otros muchos datos.



Hace un año, el equipo recolectó muestras de hielo del archipiélago de Svalbard, en Holtdahlfonna de la isla Spitsbergen, y las labores continúan mientras se construye en la antártica el alojamiento final de los pedazos de agua congelada.

El almacenamiento en el Santuario Antártico de la Memoria de Hielo comenzará este año en la caverna que se excava con tal propósito. El legado para las futuras generaciones contendrá el hielo de más de 20 glaciares recolectados a lo largo de veinte años; contendrá también la esperanza de que un día las nuevas tecnologías permitan extraer conocimiento del pasado guardado en esos carámbanos. Se realizará entonces lo que de alguna manera esta consignado en *Cien años de soledad*:

“José Arcadio Buendía, sin entender, extendió la mano hacia el témpano, pero el gigante se la apartó. ‘cinco reales más por tocarlo’, José Arcadio Buendía los pagó, y entonces puso la mano sobre el hielo y la mantuvo puesta por varios minutos mientras el corazón se le hinchaba de temor y de júbilo al contacto del misterio”.



Algo parecido debe haber ocurrido este año, cuando físicos del Paul Scherrer Institute de Suiza pusieron sus manos sobre un témpano de hielo del glaciar de Corbasiere, localizado en los Alpes occidentales.

En una publicación reciente de la prestigiosa revista *Nature* los estudios parecen mostrar que no hay grandes novedades en el periodo que va de 2008 a 2018, pero los expertos concluyen que quizá esas no serán buenas muestras del pasado; o por lo menos el análisis no mostró evidencia de grandes cambios ni depósitos de contaminantes como se esperaba.

Los estudiosos argumentan que eso se debe a que el agua arrastró hacia el fondo los elementos que buscaban, pero tal vez una interpretación más sencilla es que las hipótesis son incorrectas y que la situación medio ambiental no es tan catastrófica como se anuncia.

Los registros de temperaturas de las estaciones cercanas no indican que haya ocurrido un proceso de derretimiento en el periodo razonable para explicar que tuvo lugar una filtración responsable de la ausencia de lo esperado y que confirme la explicación los expertos.

Sin embargo, éstos continúan considerando que pudo haber sido antes. Siempre existe la tendencia a complicar la argumentación antes que admitir que las premisas eran equivocadas. El tema del clima se ha convertido en agenda política, y ahora todo lo que se estudie estará sujeto a la fuerte resistencia que siempre presentan los prejuicios. Es un área de investigación que se complicó mucho en ese sentido.

En todo caso, ya sea para confirmar o para rebatir las muchas especulaciones que existen alrededor del clima, la colección de fragmentos cilíndricos de hielo con varios metros de longitud representará este año lo que José Arcadio Buendía se atrevió a murmurar aquel día en que llevó a su hijo Aureliano a conocer el hielo, será una alucinante colección de los “diamantes más grandes del mundo”.

***GERARDO HERRERA CORRAL**
Físico de la Universidad de Dortmund y del Cinvestav, es líder de los latinoamericanos en el CERN. Ha escrito diversos libros, entre ellos *Dimensión desconocida. El hiperespacio y la física moderna (Taurus, 2023)* y *Antimateria. Los misterios que encierra y la promesa de sus aplicaciones (Sexto piso, 2024)*.



LA ACÚSTICA DE LA SAGRADA FAMILIA DE GAUDÍ

FRANCESC DAUMAL I DOMÈNECH /
ARTURO CAMPOS

Gaudí consiguió muy buenos resultados acústicos en la sala de música del Palau Güell, o la de Bellesguard (todas estas obras realizadas en Barcelona), y diseñó el Baldaquino, así como el púlpito de la Catedral de Mallorca. ¿Alcanzó a entender que la Sagrada Familia necesitaba también de absorción sonora?

Antecedentes

Los ambientes generados por el arquitecto Antoni Gaudí, con sus formas y proporciones inspiradas en la propia naturaleza, así como en su gran dominio de la geometría, producen unos tonos musicales característicos que hacen que estas arquitecturas sean únicas.

Los itinerarios sonoros existen en la Sagrada Familia comenzando por el acceso; durante todo el recorrido el sonido y la imaginación se funden en un itinerario sonoro real, fantástico, acompañado también por todas las características y consideraciones acústicas en el templo que Gaudí planeó y que podemos mostrar por medio del análisis acústico mediante un modelo lumínico realizado por uno de los autores.

Gaudí no solo vivió en el ambiente de una época donde la música y los sonidos formaban parte de la vida cotidiana y conformaban la cultura de la sociedad, sino que estas manifestaciones artísticas estuvieron fácilmente a su alcance; su espíritu sensible las recogía convirtiéndolas en arquitectura.

Está claro que tuvo conocimientos sobre acústica y, tomando en cuenta su espíritu entusiasta, descubridor y altamente emprendedor, seguramente tuvo siempre presentes las condiciones acústicas de tipo físico y poético. La arquitectura y los sonidos en Gaudí, espacio y tiempo, actúan al unísono en su obra, intuyendo cómo sonarían cada una de sus viviendas, espacios religiosos o espacios públicos y, por lo tanto, cómo los sentirían las personas que los recorrerían.



Gaudí hace marcadas zonificaciones sonoras en sus edificios; crea elementos de gran importancia acústica para el aislamiento sonoro entre espacios, basándose en la flexibilidad y compartimentación de los mismos, fachadas internas amortiguadoras de sonido, separación de espacios por sus sonidos, materiales y formas, fachadas que siguen ese espíritu misterioso y místico intentando aislar al edificio de sucesos exteriores para crear así una vida sonora propia e intentando hacer de su obra arquitectónica una sinfonía de formas, espacios y sonidos; reales o como producto de esa imaginación incontrolable.

Los itinerarios acústicos de Gaudí son poéticos, con sonidos e imágenes que transportan en el tiempo, en las vivencias y los sueños. Cada material, forma, espacio, está pensado para producir una sensación visual y sonora distinta del ambiente.

Su arquitectura religiosa pretendió hacerla a manera de un gran instrumento musical, del cual pudiera participar toda la ciudad. Sus iglesias tienen una acústica interna muy planeada; coros, órganos, campanarios y campanas, con la ubicación necesaria para que el disfrute interior y exterior del templo fuese máximo. Al mismo tiempo, los espacios religiosos son muy privados, aislados, con sonidos de acuerdo a la función de espacios de oración y rezo.

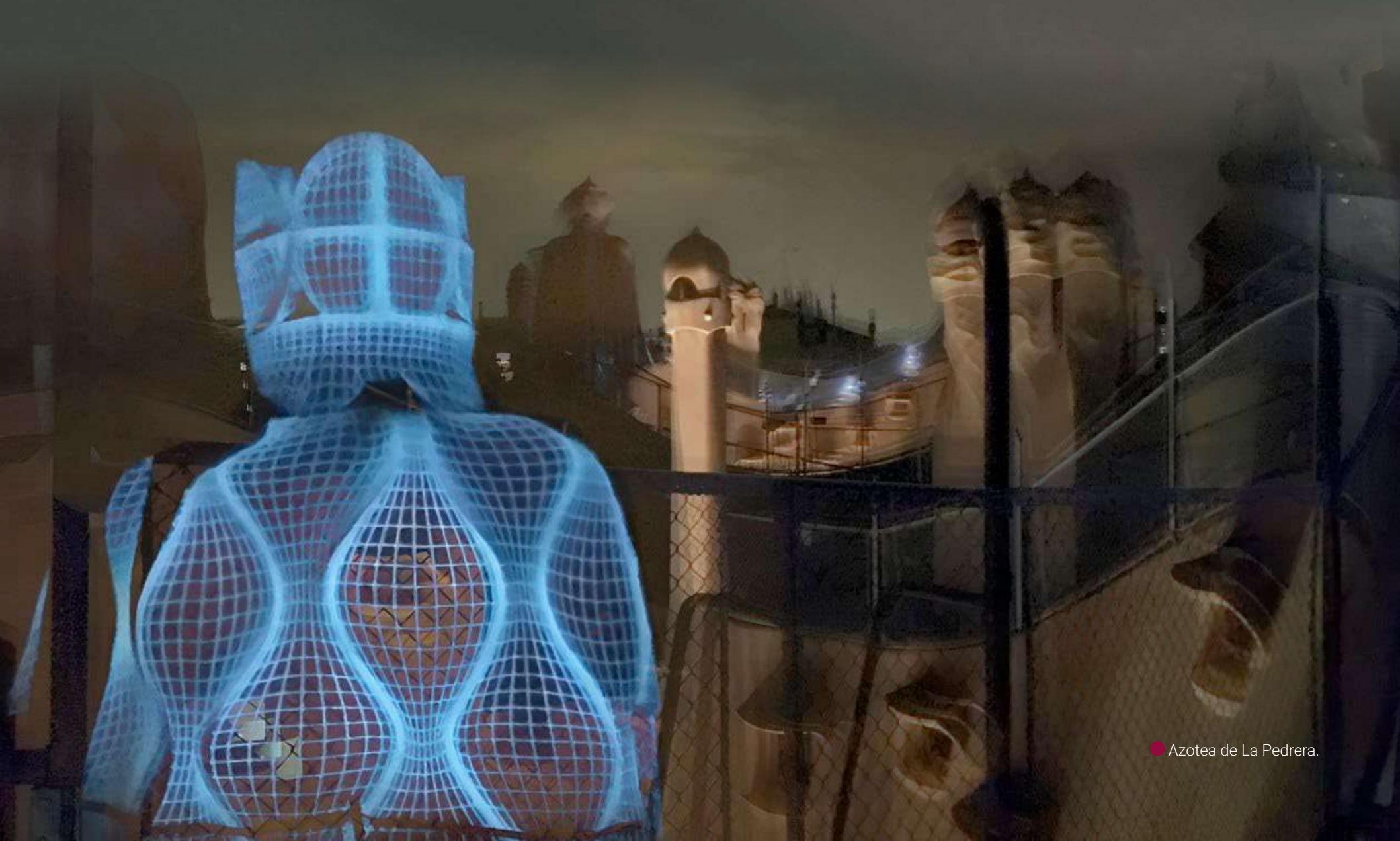
La arquitectura de Gaudí es una arquitectura que se comporta casi como un ser vivo, suena y su voz se escucha tanto que cada día el acercamiento popular a su obra es mayor; cada día sus edificios son capaces de despertar los sentimientos más profundos de comunión entre ellos y el pueblo. Todos los edificios de Gaudí tienen algo que decir, tienen voz propia; su voz se escucha,

incluso en el silencio de sus dragones, o los jardines de guerreros que observan o las olas del mar reflejadas en alguna de sus fachadas ondulantes.

Para Gaudí cada material, forma, proporción, textura y color, suministra una nota musical, y las pausas y ritmos son creados por la realidad o la irrealidad, la fantasía y la imaginación que se despiertan al avanzar y descubrir a cada paso sensaciones sonoras entusiastas y dinámicas.

Gaudí tuvo a su alcance todos los conocimientos posibles de la época respecto al arte musical; conciertos y compositores, por eso está siempre presente la acústica en sus obras; quería que produjeran sensaciones sonoras a través de itinerarios; que se comunicaran con toda la ciudad, como sus templos, y que formaran voces en las calles; que la gente pudiera oír sus mensajes a través de su obra, con sonidos que se perciben con fuerza al observar cada simbolismo.

Formas, materiales, símbolos, fantasía y realidad, son los componentes básicos de la gran música que se convierte en arquitectura; de la arquitectura que hace música a través de notas sonoras que aporta cada espacio. La arquitectura religiosa de Gaudí está llena de sonidos místicos, espacios destinados al recogimiento espiritual y a la contemplación.





La Sagrada Familia

El templo de la Sagrada Familia, por su parte, es capaz de despertar un sentimiento de gran fuerza e impacto; con un ambiente sonoro enriquecedor; tanto en la concepción del proyecto como en los itinerarios, campanas y campanarios. Todos ellos tuvieron un estudio importante, lleno de intenciones acústicas y no solo visuales.

“De esta forma se constata cómo a través de las zonificaciones acústicas creadas con los diferentes elementos arquitectónicos, la dicotomía de los espacios sonoros, el ritmo libre, el uso intencional de la reverberación, el diseño de las campanas, la colocación de los órganos y los espacios reservados para las corales, Gaudí otorgó a sus creaciones una profundidad espiritual que trascendía de los aspectos visuales para adentrarse en la magia del sonido. Josep Gustems et all. *Música y Sonido en Gaudí*, 2018”

La Sagrada Familia es un templo aislado acústica y visualmente por grandes paredes de piedra, levantado encima del nivel de la calle y rodeado de un claustro perimetral para alcanzar un aislamiento mayor. La vida y los sonidos son internos; van del interior hacia la ciudad. El claustro perimetral, un elemento diferente al claustro usado comúnmente, es muy importante entre la calle y el templo, convirtiéndose en un lugar de amortiguamiento sonoro y, a la vez, en un espacio para procesiones y peregrinaciones internas; por lo tanto, es un emisor sonoro durante ciertas actividades en las que es rico en tonalidades y cantos.

“El claustro, contrariamente a las catedrales, donde ocupa un espacio anejo, aquí —Sagrada Familia— rodeará el templo exteriormente a fin de aislarlo de los ruidos de la calle, y comunicará con el interior por los tres portales. Una de dichas comunicaciones ya la tenemos hecha con la puerta del Rosario. En el claustro podrán celebrarse procesiones y actos similares que no exijan salir a la calle”. César Martinell, *Conversaciones con Gaudí*, Ediciones Punto Fijo, Barcelona. 1969.

Las grandes y cerradas paredes del templo lo aíslan del exterior, del cual únicamente penetra la luz que conforma una imagen y sensación de bosque entre las columnas ramificadas. El aspecto grande y monumental del interior contribuye también a la sensación subjetiva de aislamiento y silencio; aunque el gran volumen de la nave central y el crucero crea una fuerte resonancia que, a su vez, produce una suave calidez visual y sonora, como si realmente se estuviera en medio de un alto bosque, quizá mágico o encantado, de mucho recogimiento espiritual, pero sin perder la sensación de encontrarse dentro de una catedral.

“En la Sagrada Familia destaca la reverberación en la nave central, recurso utilizado desde el arte rupestre para propiciar estados perceptivos alterados, desconcertantes, simbolizando la ubicuidad divina, singularizando espacios significativos con un uso ritual vinculado a la magia, al arte o a la religión. Dentro del templo, en la nave principal, la resonancia oscila entre 11 y 13 segundos en función de la temperatura ambiente, lo que hace imposible la interpretación de cualquier música sacra que no sea gregoriana, o como mucho, de la Contrarreforma. La melodía modal del gregoriano, interpretada en un espacio de tal reverberación provoca una “auto-armonía”, producida por la misma melodía en su ejecución simultánea. Esto, obviamente, estaba premeditado por el arquitecto, ferviente apasionado del canto gregoriano desde su estancia en Poblet”. Hensbergen, G. van. *Antoni Gaudí*. Barcelona, Plaza & Janés, 2001.

En condiciones normales de visita, sin actividad religiosa, el templo presenta un gran aislamiento, así como unos niveles sonoros bajos y equilibrados. El pavimento de corcho amortigua el impacto de los zapatos y mejora el aislamiento térmico, aunque no todo el pavimento es de corcho, lo hay de granito pulimentado, por lo que el sonido rebota en el mismo.



En el momento de una celebración, en la iglesia existe un incremento sonoro proveniente de varios puntos emisores, diversos tanto en su ubicación como en el tipo de sonido producido. En una celebración habrá sonido, en primer lugar, proveniente del oficiante desde el altar, localizado delante del ábside; en segundo lugar, sonido proveniente de los coros localizados detrás del altar, que originalmente Gaudí pensó serían ocupados por 800 niños y 800 sacerdotes cantando a 15 m de altura desde las cantorías que rodean el ábside, o en las naves laterales y desde una altura también de 15 m el Gineceo o coros de mujeres que ocuparían 1300 mujeres cantantes desde esa elevada posición.

Estos coros permiten emitir cantos mezclados con el canto del pueblo situado en el centro del espacio y a nivel del piso principal. Por último, el sonido musical proveniente de los órganos se emitirá desde arriba y en el centro o crucero de las dos naves del templo. Se trata entonces de una distribución sonora global, desde el frente, el centro, coros laterales y desde arriba la música del órgano, de tal manera que juntos alcanzan todo el espacio uniformemente.

El material, a base de piedra, combinado con las formas cóncavo - convexas y las esculturas adosadas, crean una completa difusión del sonido que reciben y generan también diversas tonalidades provenientes del granito, el pórfido, el vidrio y otros materiales.

“Si bien el volumen del interior es inmenso (más de 200.000 m³) y el tiempo de reverberación (T20) proporcionalmente largo (hasta 12 s promediado de 500 Hz a 1000 Hz), a los coristas les resultó evidente que el campo sonoro fue muy difuso. A pesar de las superficies duras y la existencia de muchas columnas reflectantes en el espacio, dondequiera que estuvieran ubicados los cantantes, el sonido se difundió muy uniformemente. (Pantea Alambeigi, Jane Burry & Mark Burry, 6 de Marzo de 2024: “Auralising the soundscape of Sagrada Família Basilica: a virtual journey through sound”, en *Architectural Science Review*, DOI: 10.1080/00038628.2024.2326471)”

En las conversaciones con Gaudí, de Juan Bergós, aquél ya explica la importancia de las formas arquitectónicas: “Con el uso razonado de las superficies alabeadas no se precisan molduras, ellas por sí mismas son adaptables a toda suerte de situaciones y volúmenes, evitando toda clase de masas pasivas o inertes y teniendo, por tanto, más luz, jugando ésta y el sonido admirablemente.”

Al conjugarse con las formas, los materiales crean sonidos y reverberaciones especiales, buscando ese deseo de Gaudí de que el templo fuera viva voz de la ciudad; que su vista y sonidos llegaran mucho más allá del interior del mismo y alcanzaran al exterior, involucrando al pueblo en cantos y celebraciones.

Como sugerimos, algunos aspectos pueden mejorar, como por ejemplo la planeidad de la pared de cierre del acceso principal, que produce algunas tonalidades específicas no deseadas.





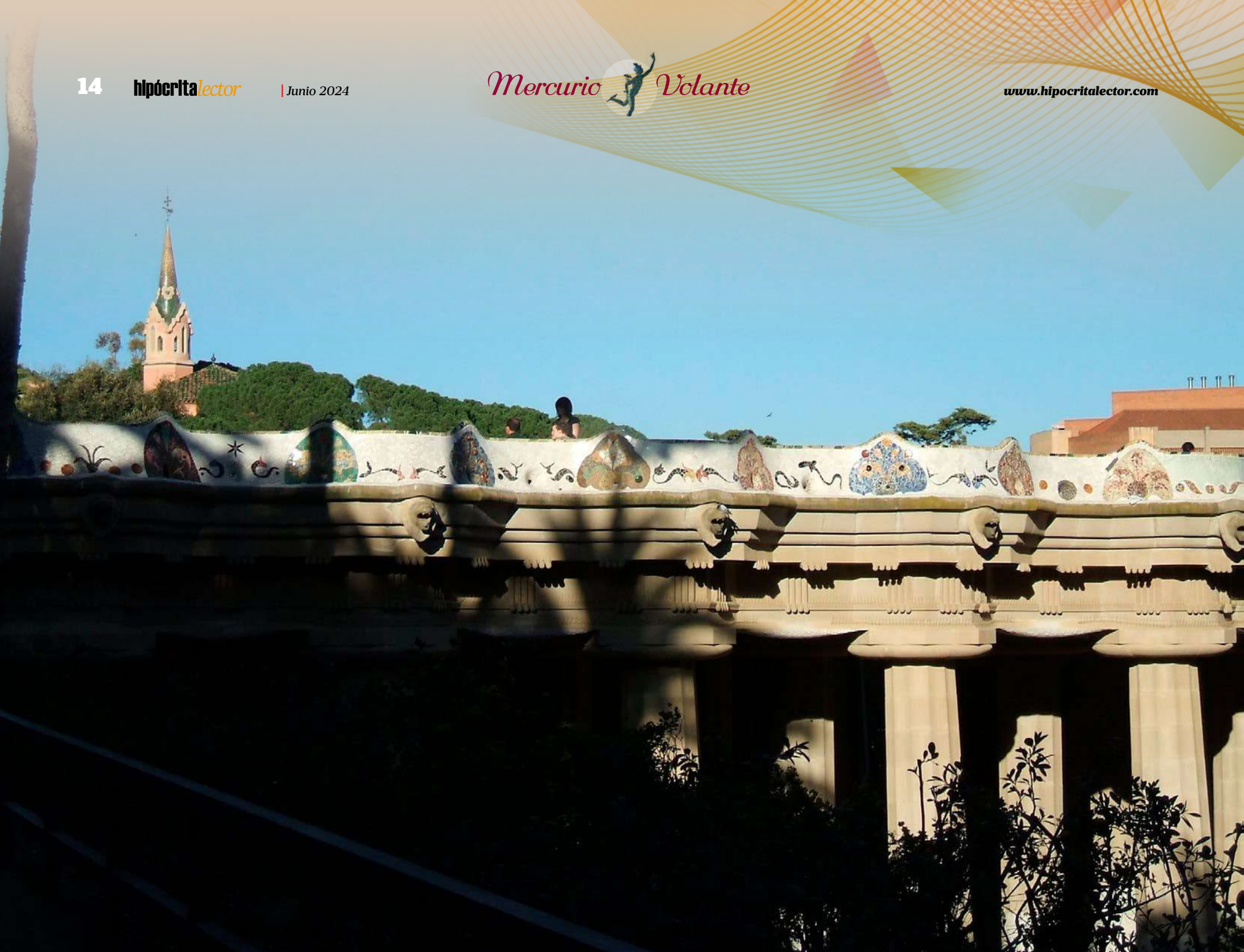
Gaudí realizó un amplio estudio sobre la colocación y distribución de los coros y del órgano, así como experimentos sobre la sonoridad de las campanas. Dentro de estas ideas de sonoridad, destacaba el ímpetu por la participación popular en el canto; la palabra y la voz de coros, sacerdotes y fieles que debían combinarse y predominar sobre la música. Dispuso sitios determinados para los coros según el tipo de voz y su capacidad interpretativa, por tal motivo, en la Sagrada Familia se encuentran los coros de niños alrededor del ábside y se complementa el presbiterio con el coro de clérigos, situado en la parte posterior a un nivel intermedio.

Los coros para 1300 mujeres cantantes, como se mencionó, se ubican perimetralmente y a una altura de 15 m sobre el nivel de la planta principal. En este caso, el sonido llega a los fieles desde arriba y rodeándolos, parece un sonido celestial, donde los cantantes casi no son vistos desde abajo. En el centro del templo se produce el canto del pueblo. Los órganos se colocarán entre las columnas que sostienen el cimborio principal y serán cuatro órganos que estarán a 45 m de altura. Habrá, por lo tanto, una colocación por niveles de los diversos tipos de sonido, los fieles o espectadores en el nivel bajo, las voces y coros en niveles de altura intermedia y la música siempre proveniente de la parte superior, ya que los tubos de los órganos estarán en la parte más alta.

Con esta disposición se logrará una mezcla total del sonido, dándose una difusión en todo el volumen del templo; los cantos provienen de abajo y de en medio y, desde arriba, la música de los órganos, justamente en el centro, en el cruce de naves. Esta distribución sonora de arriba a abajo y de abajo a arriba, ayudada por las formas difusoras internas y el volumen del espacio, debe producir una mezcla óptima de canto y música, de voces y melodías creando gran cantidad de tonalidades.

“Esta mañana he ido a la Sagrada Familia con los estudiantes de Ingeniería. Ante la maqueta, Gaudí nos ha explicado la estructura del templo. Dice que las bóvedas serán paraboloides hiperbólicos y enaltece las condiciones acústicas y lumínicas de estas formas geométricas. Los rayos luminosos se reflejan por cualquier punto; tanto de día como de noche; lo mismo con la luz de los ventanales que con la de los cirios. Advierte que las bóvedas de cañón, de uso frecuente antiguamente, concentran los rayos reflejados en determinados lugares, y a fin de evitar este inconveniente algunas veces se las revestía de casetones. En la sagrada Familia este fallo se evitará de un modo directo, utilizando bóvedas cuyas formas tengan propiedades geométricas adecuadas a sus finalidades utilitarias, ornamentales y constructivas. César Martinell, *Conversaciones con Gaudí*.”

Por lo tanto, un aspecto de suma importancia es la alta difusión derivada de sus formas y texturas internas; el empleo de las superficies de paraboloides e hiperboloides, columnas estriadas, así como la gran cantidad de superficies en relieve que consiguen difundir hacia múltiples direcciones el sonido que les llega, evitando las concentraciones en determinados puntos.



● Parque Güell.

“De modo parecido a la luz, el sonido no experimentará nunca concentraciones, prolongaciones ni ecos, debido a las superficies dispersoras de bóvedas, columnas y ventanales: tendrán, pues, la máxima nitidez las saluciones del sacerdote, la predicación y los cánticos. Estos cánticos producirán unas gradaciones sorprendentes, a causa de los diferentes niveles desde donde sean emitidos y de la diversidad de coros”. Juan Bergós, *Gaudí, el hombre y la obra*.

Esta cualidad se va a apreciar en gran medida en los techos de las graderías de los coros, formados por una gran composición de paraboloides hiperbólicos intersecados que logran una difusión hacia abajo y al frente de los cantantes, de manera uniforme, en el espacio.

Una vez planteadas las características de sonoridad del templo de la Sagrada Familia se muestra el análisis acústico por medio de un modelo lumínico. Tomando en cuenta que ambos fenómenos físicos, sonido y luz, manifiestan comportamientos de reflexión similar, se elaboró una maqueta recubierta de plástico espejo, a escala 1:50, de la sección del templo que abarca los coros de mujeres y, por medio de un haz de luz, se comprueba el compor-

tamiento difusor de las formas del techo, paraboloides e hiperboloides, correspondientes a dichos coros.

Esta maqueta y el análisis del “light tracing” confirman los comentarios realizados respecto al ascenso y descenso del sonido en la nave central de la Sagrada Familia, donde la difusión cobra una trascendencia muy importante derivada de las formas del espacio. En la maqueta está representada una sección transversal del templo, detallando un módulo de coros y graderías, cuyas dimensiones son 3,50 x 15,0 m y se encuentra a 15 m de altura respecto la planta principal.

Las dimensiones totales de la maqueta son de 0,60 x 0,90 m, y está recubierta de plástico transparente y papel vegetal. La difusión que se observa favorece el efecto sonoro de mezcla ascendente y descendente entre el sonido de las voces de los fieles, la música de los órganos y las voces de los coros, creando la sensación de envoltura espacial por el sonido. Se observa en las imágenes, que las paredes y los techos, formados por paraboloides e hiperboloides, crean una difusión del sonido en todos los sentidos, pero principalmente hacia la nave central, que es donde se mezclan los diversos sonidos de música y voz.





Muchos de los rayos sonoros alcanzan aún a reflejarse en el techo de la nave central, llegando también a la zona baja de congregación de fieles y también a la zona de coros al otro lado de la nave principal, creándose así una serie de reflexiones entre las dos zonas de coros. Existen zonas de mayor concentración sonora, pero también de mayor difusión, como son las uniones entre techos y paredes, las cuales muestran este reparto del sonido a través de las fotografías, observándose que en cualquier punto donde se esté situado el sonido llegará con viveza.

El haz de luz, colocado en la zona mencionada, alcanza a la parte de la nave central, arriba de la cual se producirá el sonido que vendrá de los órganos, situados a 45 m. de altura, de manera que el sonido directo hacia los fieles es de mucha importancia y destaca también la difusión sonora del techo de esta zona. El sonido proveniente de los órganos se debe mezclar así con los sonidos de los coros y los cantos de los fieles.

El tercer punto donde llega el haz de luz es en la parte baja del templo, correspondiente a la zona donde están congregados los oyentes, que también entonarán cantos litúrgicos. Se observa el sonido directo que alcanzará este lugar, así como el sonido difundido a través de las paredes y techos de los coros y del techo de la nave central. En la maqueta puede observarse que los rayos reflejados hacia la zona baja del templo llegan desde varios sitios.

En cualquier caso, la elaboración de este modelo permite comprobar el alto grado de difusión de los elementos que forman los techos y las paredes de la iglesia, comprobando también que, los tres emisores sonoros: coros, órganos y fieles, que crearían por difusión y sonido directo una mezcla ascendente y descendente del sonido. Esta difusión debida tanto a las formas como a los materiales sumamente reflejantes, de las paredes techos y suelos, contribuye también a que el tiempo de reverberación en el templo, una vez terminado, será alto, incluso con la absorción sonora producida sobre todo por la gente congregada.

Finalmente, es de mencionar que este comportamiento sonoro de alta difusión puede aplicarse a todas las demás construcciones de Gaudí que siguen estas formas en sus techos y paredes, como es el caso de la Cripta Güell, o el salón central del Palacio Güell.

También Gaudí puso especial esmero en el estudio de los campanarios de la Sagrada Familia y de sus campanas. Trató sus campanarios como grandes tornavoces; los sonidos emitidos por las campanas interiores serían reflejados y difundidos desde lo alto hacia toda la ciudad auxiliándose en los campanarios por pequeñas aberturas con un elemento inclinado hacia fuera. Este aspecto es parecido al de los difusores de los campanarios de Nôtre Dame, en París, aunque en dicho caso la forma y dispersión es siempre la misma. Con esto seguramente se alcanzaría una proyección sonora mayor y mejor, llegando la voz del templo a gran parte de la ciudad.

En la Sagrada Familia se encontrará un itinerario acústico no solamente por lo que se perciba físicamente, sino por todos aquellos símbolos del templo que crean mensajes sonoros en el pensamiento. Gaudí se propuso hacer del templo un cántico completo. Es de esperar que este itinerario acústico de la Sagrada Familia esté lleno de sorpresas sonoras. Las tortugas que sostienen el peso de la fachada del Nacimiento, que aparentan realmente estar vivas y moverse, o los ángeles que con sus trompetas hacen que se escuche en la mente una verdadera música celestial; también llenas de símbolos están la fachada de la Gloria y de la Pasión. Acústica donde cada símbolo,

imagen o forma, parecen poderse escuchar, todo a través de su gran espíritu, el espíritu mismo de Gaudí.

Hay que mencionar que, en épocas recientes, se ha realizado la prueba de sonido (a la que pudo asistir uno de nosotros), donde se comprobó cierto desconcierto entre los intérpretes de los coros que debían realizar el seguimiento del director mediante pantallas de televisión debido a la escasa visibilidad con la nave, y la baja conjunción de las cuerdas entre sí por la elevada distancia existente entre ellas. Esto nos lleva también a hacer preguntas acústicas que surgen por el comportamiento sonoro real del templo y que, de manera natural y normal, son quizá diferentes a lo que Gaudí hubiera pensado, o tal vez no.

¿Por qué los espacios sin material absorbente diseñados por Gaudí, pero con gran presencia de superficie y forma, con material constructivo, suenan bien?

Analicemos estos casos.

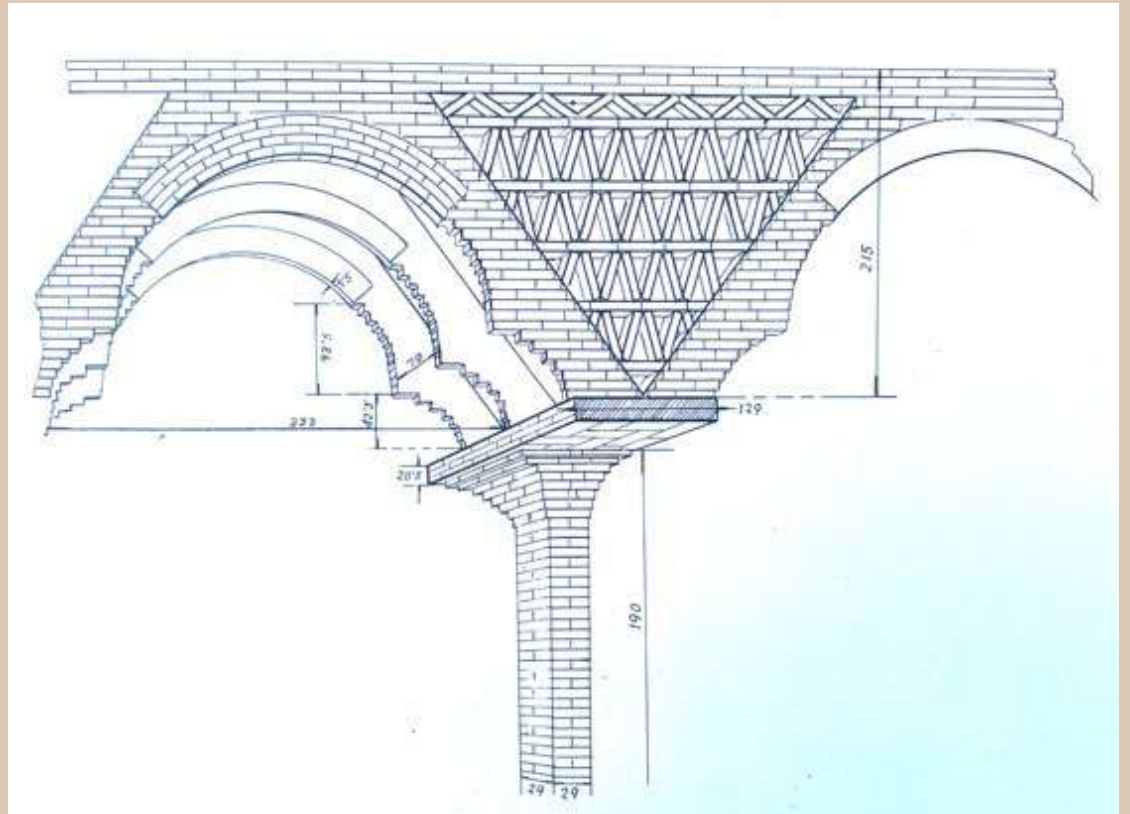
Bellesguard (Barcelona)

El caso de la sala de música de Bellesguard es un gran ejemplo de la economía en material absorbente. Se trata de un zaguán cubierto con arcos de ladrillo macizo, avanzando planos hasta formar unos arcos, soportados por tabiquillos tipo conejero del mismo material.

Para llegar al desván, las pisadas en la escalera de mosaico suenan fuerte y, en lo más alto, se encuentra una escalera sumamente estrecha; de paredes planas que rebotan el sonido al pisar los escalones también de mosaico y que llevan al desván o sala de música de Bellesguard; ya ahí, la realidad es otra, en seguida se percibe que es un espacio frío en su sonido, aunque es un lugar hermoso con paredes, piso, techo, columnas y arcos de ladrillo en relieves que lo hacen absorbente. Los ladrillos son elementos a simple vista frágiles, delgados y que dejan espacios entre sí por donde fluye el sonido.

Absorción aumentada por algunas alfombras en el piso y varias cortinas en las paredes. Tiene muchas ventanas pequeñas y el sonar constante de un depósito de agua y su tubería distorsionan el sonido de los árboles y pájaros desde el jardín. El itinerario sonoro de Bellesguard es, por lo tanto, muy real y sincero, con sorpresas puntuales como la fuente o los vestíbulos que separan un espacio de otro y que no permiten ver ni oír lo que seguirá a continuación en el recorrido.

En la Sagrada Familia se encontrará un itinerario acústico no solamente por lo que se perciba físicamente, sino por todos aquellos símbolos del templo que crean mensajes sonoros en el pensamiento. Gaudí se propuso hacer del templo un cántico completo. Es de esperar que este itinerario acústico de la Sagrada Familia esté lleno de sorpresas sonoras.



Este tocho manual es mucho más poroso que el producido mecánicamente.

Recordemos que Sabine (1868-1919) define de forma experimental su fórmula para el tiempo de reverberación de un recinto, todavía válida en el caso de espacios reverberantes, como el resultado de multiplicar el volumen del local por el coeficiente 0,162, y dividir el resultado por las unidades absorbentes o Sabinios métricos. Estas unidades de absorción no son otra cosa que el sumatorio de los productos de las superficies de cada material presente en la sala, por su correspondiente coeficiente de absorción (alfa absorbente).

En el sistema métrico decimal, la fórmula de Sabine es:

$$RT = 0,162 V / A$$

V = Volumen del local en m³

A = sumatorio (S x alfa), donde S es la superficie de cada material, y alfa su coeficiente de absorción sonora

En definitiva, es la forma y difusión final del conjunto, y no la absorción del ladrillo como material empleado, las que confieren las buenas características acústicas de la sala.

Sala de música del Palau Güell, (Barcelona)

Otro ejemplo de espacio controlado acústicamente por Gaudí es el de la Sala de Música del Palau Güell.

Ubicado en la calle Unió de Barcelona, el edificio estuvo destinado a residencia de la familia de Güell, que fue, durante muchos años, mecenas de Gaudí.

El Palacio es un lugar lleno de sensaciones, recorridos, variedad de materiales, y cada uno de estos elementos contribuye a formar un itinerario acústico como si se tratara de una perfecta sinfonía musical. Desde el momento en que se entra se percibe que es un mundo distinto; la calle ha quedado atrás, no se ve, pero su murmullo permanece en la conciencia a través de las semitransparentes rejas del acceso; el espacio se torna oscuro, misterioso, y despierta un gran interrogante sobre lo que se encontrará después.

Las distintas zonas, desde las caballerizas, cocheras, hasta las áreas de recepción y de vida privada, crean cada una un ambiente muy definido espacial y formalmente y, por consiguiente, las sensaciones visuales y sonoras que se perciben son tan variadas que hacen disfrutar los espacios como si cada uno de ellos tuviera su propio mensaje y lo quisiera transmitir a través de sus elementos.

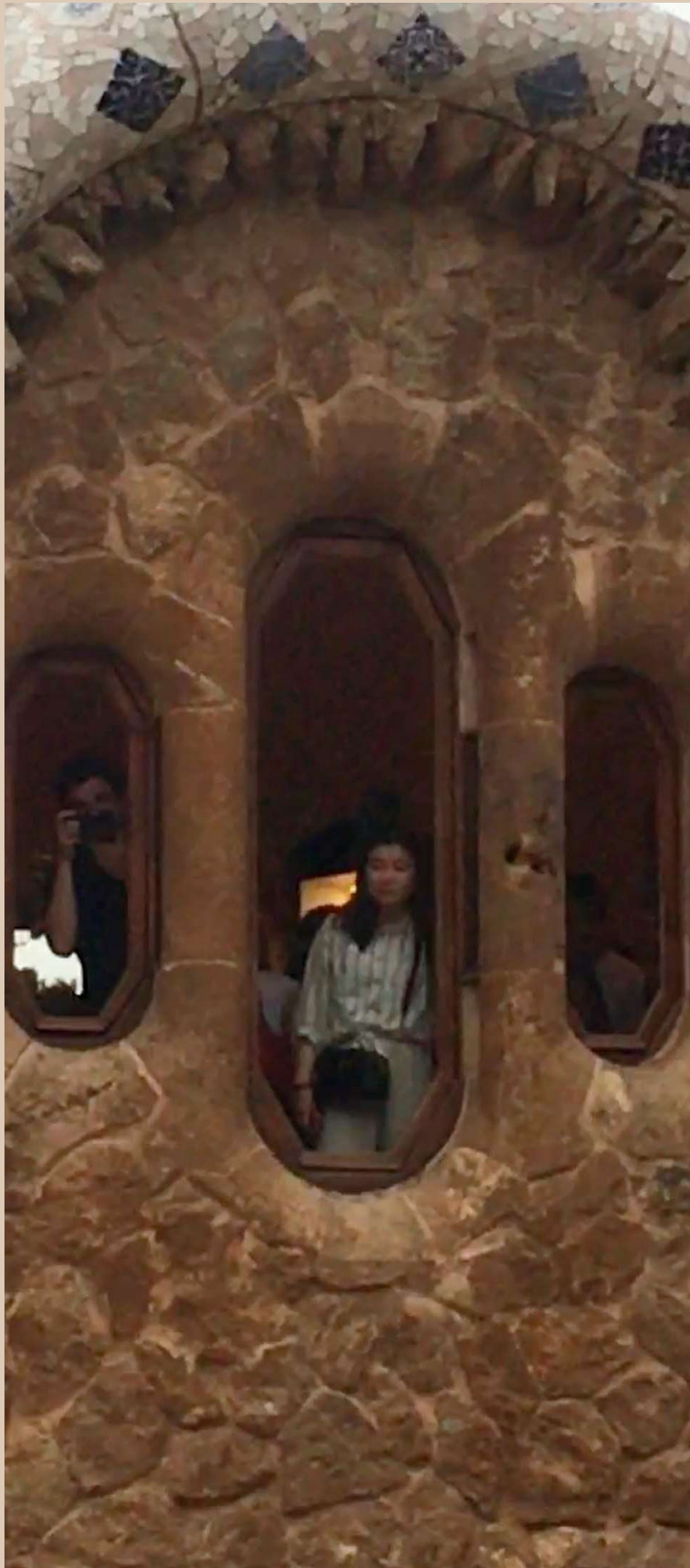
Los suelos, paredes y techos, según sean de parquet de madera, piedra, mármol, artesonados o de ladrillo, van conformando los sonidos en los espacios, haciéndolos hablar por sí mismos o reaccionando a los estímulos del visitante.

El salón central es el espacio más interesante del edificio, usado en su época tanto para actividades privadas como para recepciones sociales y fiestas. En primer lugar, puede aislarse o, por el contrario, abrirse completamente hacia los distintos niveles de la vivienda por medio de ventanas superiores. En el salón, aparte de su gran belleza que lo hace inigualable, se encuentra la mesa del altar, conformando un espacio usualmente cerrado que, al abrirse, convertía el gran salón en una especie de capilla u oratorio. Además, también está aquí el teclado del órgano, cuyos tubos se encuentran en la parte más alta de la sala.

Esta diversidad de actividades vinculadas con la cultura, el arte, la política, la religión y, sobre todo, el uso especialmente destinado a la música, creó la necesidad de tratar este espacio como un gran instrumento musical buscando la mejor sonoridad de acuerdo a sus materiales y formas.

Gaudí se da cuenta de la gran trascendencia de este salón y es donde pone de manifiesto sus ideas sobre la conjunción entre la música y la arquitectura. Dispone su arquitectura, por lo tanto, al servicio de la música, y el sonido de ésta a disposición de aquélla. Cada elemento y lugar sigue la idea básica de que debe existir un dinamismo sonoro entre las partes bajas del gran salón y las partes altas, un sube y baja de voces y música que se mezclan en el aire y producen un encanto en los oyentes. De esta manera coloca los tubos del órgano en la parte más alta, cerca de la cúpula, la cual rompe el efecto concentrante de su concavidad por la difusión sonora producida por el recubrimiento de piezas troceadas y en relieve.

En la parte baja, crea un entresuelo destinado a la orquesta y en las partes medias abre grandes ventanas hacia el salón, para albergar los coros; de esta manera, la fusión de música y voz se logra en el conjunto; muchas veces el espectador no ve a ninguno de los participantes en la sinfonía, pero las voces, la música de la orquesta y el órgano son percibidos como envolventes del espacio, provenientes de un lugar misterioso del cual el oyente no se percató pero sí siente. La arquitectura del espacio participa de esta sinfonía, cada elemento entra en resonancia y vibra al unísono con la música, aportando la difusión y la absorción sonora precisa.





Consideraciones finales a la acústica de la Sagrada Familia

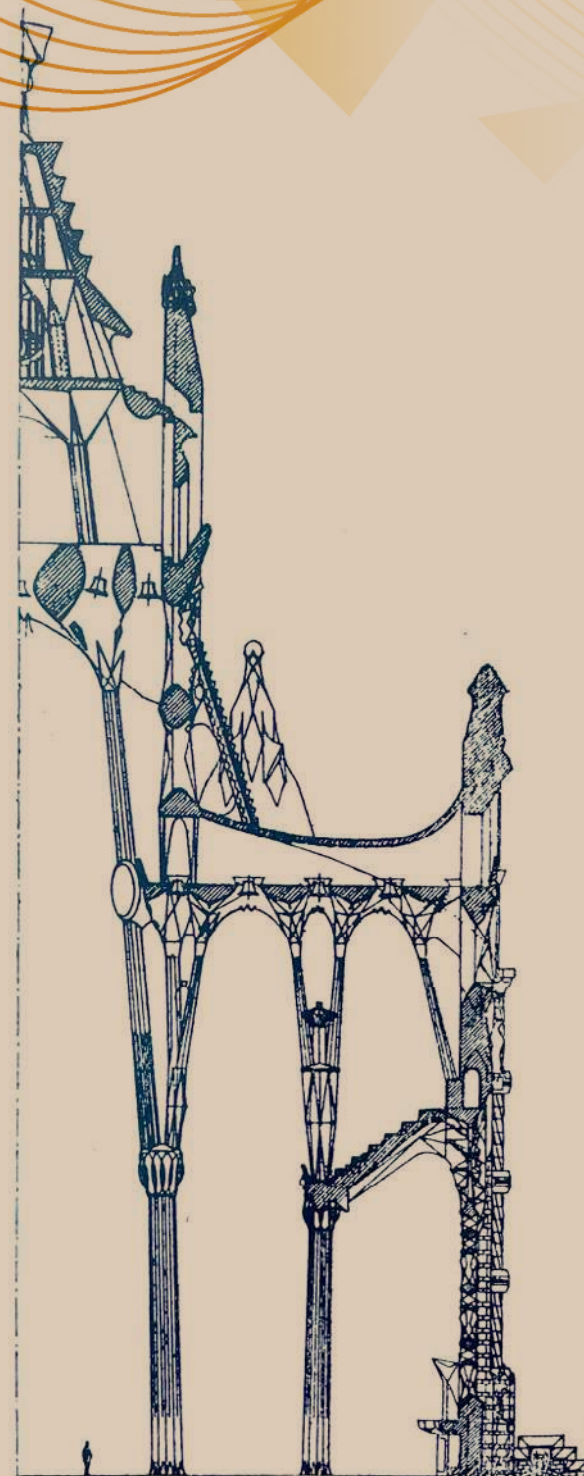
Vemos, como en todos los casos anteriores, que Gaudí llega a entender, dominar y controlar la acústica de estos espacios.

Es más, Gaudí comprende perfectamente los conceptos acústicos. Así lo expresa en sus conversaciones con los arquitectos que le han acompañado a lo largo de su trabajo en la Sagrada Familia.

La arquitectura de Antoni Gaudí se impregna de todo el sentimiento cultural de una época, fuera escultura, pintura, música o poesía. Su sentimiento interpretó cada una de ellas haciendo que sus obras tuvieran que descubrirse no solo con la vista, sino con el espíritu, la imaginación y, sobre todo, con el disfrute máximo del espacio. La escultura y la pintura en su obra son hermosas; y especialmente la música y la poesía hay que vivirlas a cada instante.

Gaudí no fue músico, pero durante toda su vida tuvo siempre un lugar en su pensamiento dedicado a tal arte; tenía ideas musicales que desarrolló también en sus diversas obras.

Todo el ambiente social estaba impregnado por cierto espíritu musical que, a su vez, era el fiel reflejo de lo que ocurría en otros campos del arte. Gaudí trasladó ese ambiente hasta el punto de hacer de sus edificios verdaderas sinfonías. Seguramente lo que Wagner hizo con su música y el tiempo Gaudí lo hizo con su arquitectura y el espacio. Independientemente de esto, sobre todo está la creación de la arquitectura total de Gaudí, donde se une espacio, escultura y materia para hacer de la obra música a cada recorrido, voces de poesía que están vivas en cada edificio



Entonces, ¿por qué no hizo lo mismo con la nave de la Sagrada Familia?

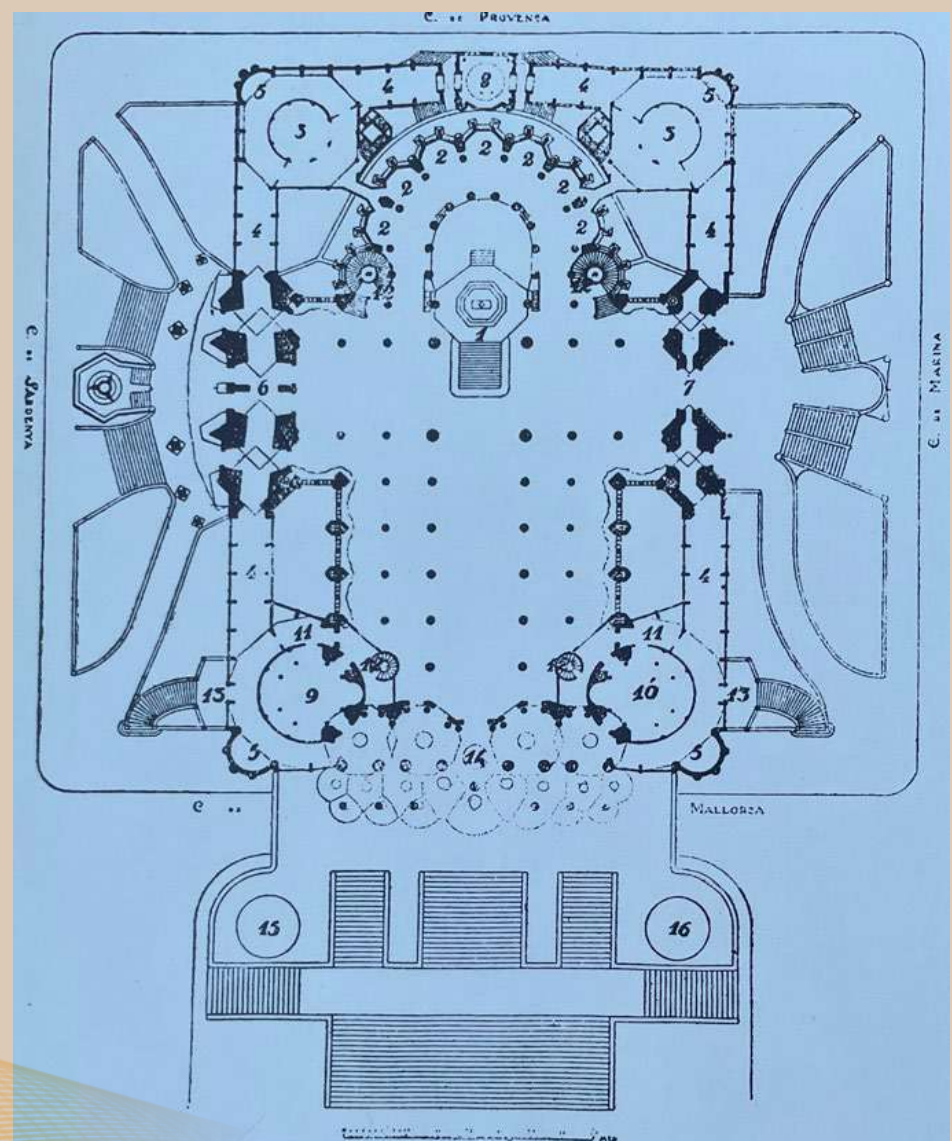
La respuesta está en la propia función del templo y los significados religiosos a lo largo del tiempo.

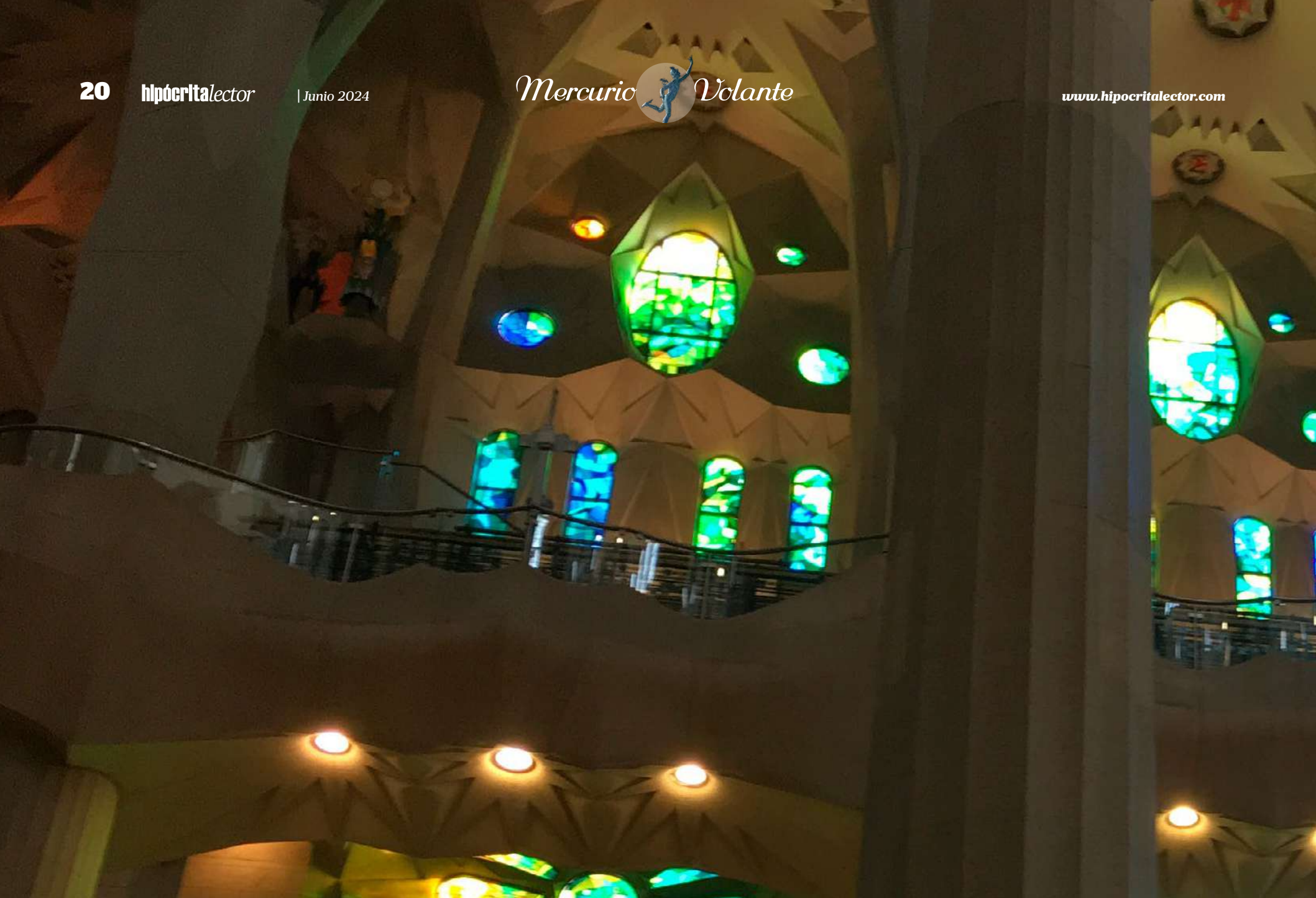
Gaudí la considera una Basílica Expiatoria que se construye con los donativos de los feligreses, por lo que seguramente cree que debe tener la acústica de una Catedral. Es decir, no es un auditorio cuya reverberación normalmente queda controlada por la absorción de las butacas y el público —con las reflexiones y difusiones de las paredes laterales y techo—.

En efecto, los auditorios tienen un parámetro que los define a nivel arquitectónico, y que es el volumen por plaza. Este V/N se encuentra comprendido entre los 5,26 m³/oc. (Academy of Music, Filadelfia), y 14,24 m³/oc. (Royal Albert Hall, Londres), con un valor promedio de 8 m³/oc. (valores resultantes del estudio Music, Acoustics & Architecture, de Leo Beranek).

Otro parámetro arquitectónico es el de la densidad de ocupación, N/S_p, es decir, los ocupantes por unidad de superficie. En este caso, el valor menor se da para el Beethovenhalle, de Bon, con 1,06 oc/m², mientras que el valor mayor es para el Tanglewood Music Shed, de Lenox, que alcanza 1,95 oc/m².

En el caso de los auditorios, la absorción en sala vacía se consigue equiparar a la que presentará en sala llena, mediante un riguroso estudio de la absorción de las butacas tanto vacías como ocupadas. También se dispone de suelos de madera, para favorecer la llegada de los sonidos graves transmitidos por vía sólida.





Por el contrario, las catedrales, presentan siempre mayor volumen, los laterales no son absorbentes, y los ocupantes se disponen generalmente en bancos de madera —y no butacas estudiadas sonoramente—, y el suelo también es muy reflejante acústicamente hablando. Por ello la absorción del público sentado en bancos de iglesia es menor que la correspondiente al mismo público sentado en asientos tapizados, estudiados para equiparar la acústica de auditorios tanto en sala vacía como llena.

125	0,25
250	0,27
500	0,33
1000	0,38
2000	0,40
4000	0,38

Absorción en Sabinios métricos del público sentado en asientos de iglesia (según Beraneck, L)

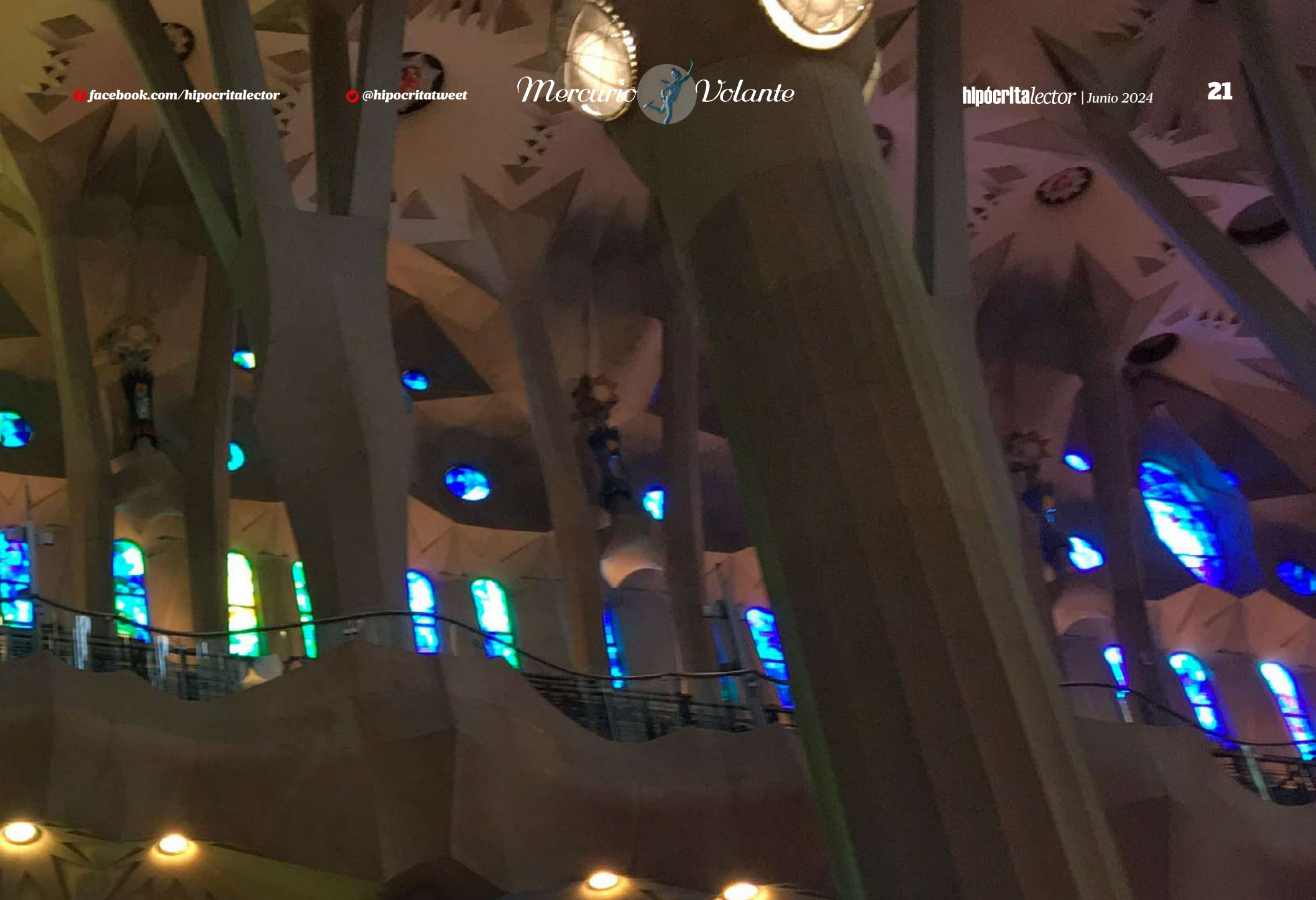
Entonces, ¿cuál es la razón por la que Gaudí dispone de varios palcos para los coros de hombres, mujeres y niños, si será imposible entenderse entre sí?

La razón seguramente está ligada a que Gaudí comprendía muy bien la función de un templo, ligada al uso y a la tradición histórica. Gaudí sabía que el templo tenía que representar lo que por tradición han representado las grandes catedrales, una relación de omnipresencia y grandeza, donde la gente se reunía no solo por razones religiosas.

Gaudí diseñó y evolucionó en sus conceptos acústicos a tal grado que los utiliza todos en la Sagrada Familia, el aislamiento del exterior hacia el interior con el claustro perimetral, de tal manera que la vida del templo fuera interna, que sus sonidos fueran propios, pero al mismo tiempo enviar esos sonidos a la ciudad por medio de sus campanas y campanarios, en una búsqueda de manifestación ciudadana proveniente del templo hacia la ciudad y no al revés.



● Púlpito de la Catedral de Mallorca.



A manera de conclusión

Como se mencionó antes, Gaudí tenía muy claro la respuesta acústica de la Sagrada Familia, asumiendo en esta claridad de ideas su función como templo religioso y la manera como un templo, en este caso la última de las grandes catedrales, debería sonar: un bosque de sonidos envolventes, donde el mensaje proviene de muy diversas alturas y distancias, y donde se crea un sonido propio.

Gaudí concibió la iglesia como un bosque y, de misma manera que en un bosque los sonidos provienen de lugares diversos, produce diferentes planos de emisión sonora, los fieles a nivel de templo, las cantorías de niños, mujeres y sacerdotes a los 15 m y los órganos musicales a mayor altura, igual que en un bosque el sonido en los diversos estratos de altura por las copas de los árboles.

El sonido de la sagrada Familia envuelve, viajando y siendo difundido por sus elementos constructivos en techos, paredes, columnas, capiteles que a veces son lisos y a veces estriados. Gaudí planeó el sonido direccional, el sonido perimetral, el sonido ascendente y descendente de la Sagrada Familia; planeó los itinerarios sonoros, la ubicación de los emisores y receptores, la cantidad de campanas, la forma de los campanarios; planeó el sonido del templo, pero lo planeó pensando eso, que era y será un espacio religioso, donde quizá el entendimiento del sonido no importa tanto como el mensaje subjetivo de éste, el bosque, el sonido envolvente, el sonido de lo omnipresente que debe mostrarse como mensaje final, cosa que la Sagrada Familia logra. Gaudí por lo tanto no pensó necesariamente en que se realizarían conciertos u otras actividades; tenía claro que levantaba la última de las grandes catedrales, por lo que el sonido debería enviar un mensaje distinto, no necesariamente entendible a simple oído, sino mezclado con la tradición y el uso histórico de las catedrales, y con sus cantos gregorianos usuales.

Estamos en el siglo XXI y la electroacústica e ingeniería del sonido ha evolucionado de tal forma que la acústica natural y reverberante de un lugar puede dejar casi de preocuparnos. Así lo atestiguan los estudios que realizó la empresa Gaplasa para la sonorización con

altavoces Bose distribuidos en las columnas de la Basílica, que permiten a los feligreses entender los sermones. Pero quizás nos debemos preguntar si la electroacústica puede permitir subsanar la reverberación de 11 segundos que presenta la Basílica, o quizás debamos plantearnos si los árboles desnudos actuales —como si fuera invierno—, que vemos en la nave de la Sagrada Familia, pueden vestirse con unas hojas absorbentes acústicas— como si fuera en verano—.

Creemos que tal idea (que por supuesto deberá actualizarse al momento actual de la tecnología sonora la concepción de Gaudí) permitiría transformar y adecuar la acústica de la Sagrada Familia a la necesaria comunicación sonora que en ella realicen en el futuro las orquestas, cantantes, oradores, y corales.



FRANCESC DAUMAL I DOMÈNECH
Arquitecto acústico, se enamoró de Gaudí antes de comenzar sus estudios de arquitectura, gracias a las múltiples visitas al Park Güell y la Sagrada Família que en su juventud realizaba con su padre. Actualmente es Catedrático Emérito de Universidad y consultor especialista en acústica.
francesc.daumal@upc.edu

ARTURO CAMPOS
es un arquitecto joven que se enamoró de Gaudí durante sus estudios de doctorado en Barcelona, convirtiéndolo en tema central de su tesis doctoral "Las voces de Gaudí", presentada en la ETSAB, por la que obtuvo la calificación de cum laude.
arturoca_23@hotmail.com



ACTUALIDADES DEL MERCURIO

Monotremas prehistóricos



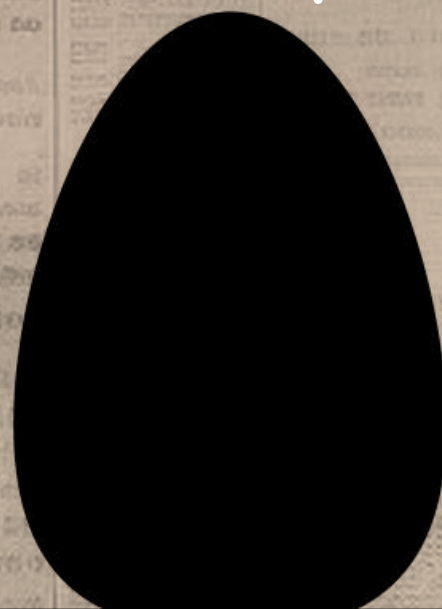
Investigadores australianos han anunciado el descubrimiento de una especie extinta de monotrema que habitó en tiempos remotos sobre aquel continente del hemisferio sur.

Precisamente en los campos norteños de ópalo de la Nueva Gales del Sur se hallaron trozos de huesos pertenecientes a mandíbulas de estos curiosos, extraños mamíferos, pues sabemos que comparten características evolutivas anatómicas con reptiles, incluso con las aves. Son tantas familias halladas en la zona que los descubridores piensan que alguna vez hubo una “era del monotrema”. Afirman que en los últimos 25 años han descubierto toda una nueva civilización que vivió en esa región del planeta hace unos 100 millones de años.

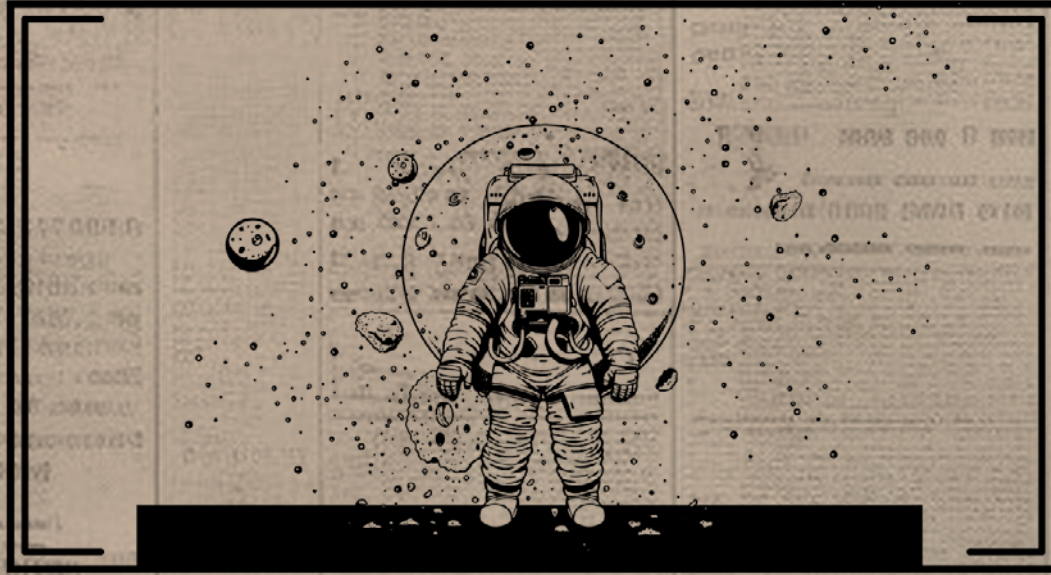
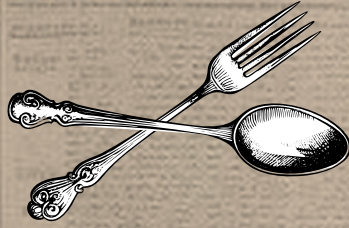
En particular esta especie, denominada *Opalios splendens*, es extraordinaria porque presenta una anatomía de ornitorrinco, pero con la mandíbula y el hocico más parecida a la de los equidnas, cosa nunca vista antes.

Son los únicos mamíferos que ponen huevos. Sus crías son diminutas al nacer; se caracterizan por la presencia de un solo diente en la punta del hocico, el cual emplean para romper la cáscara del huevo, como suelen hacer las crías de aves y reptiles.

A diferencia de los mamíferos placentarios y los marsupiales, cuyo sexo viene determinado por la presencia de un par de cromosomas, en los monotremas son cinco pares de cromosomas los responsables del sexo del individuo. A los investigadores les sorprendió que uno de estos pares de cromosomas sea similar al que contienen aves y reptiles en su proceso genético de determinación sexual.



¿Qué comerán los lunáticos?



La exploración y colonización de nuestro satélite natural ha entrado en una fase de euforia. China ha conseguido posar la sonda Chang'e 6 en el lado oscuro, mientras que la NASA, la agencia europea, Japón, Rusia y empresas privadas internacionales intensifican sus esfuerzos con objeto de iniciar su estudio y explotación. No olvidemos que la Estación Espacial Internacional está a punto de terminar su vida útil y será reemplazada.

Algo que preocupa en particular es qué tipo de alimentos deberán consumir quienes pasen largas temporadas en la Luna. Varias empresas han trabajado en los últimos años para conseguir alimentos balanceados, estables en cuanto a su temperatura, fácilmente rehidratables y que su gusto despierte en los astronautas un recuerdo grato de sus platillos favoritos en la Tierra.

Sin embargo, no podrán llevarse alimentos como panes y galletas dado que en aquel ambiente de baja gravedad las migajas se volatilizan, de manera que podrían introducirse en las vías respiratorias y en algunas partes de equipo vital, causando daños costosos. La sal deberá consumirse en muy pequeñas cantidades ya que fuera de la Tierra el sodio se almacena en el cuerpo humano de manera distinta, lo cual acelera la osteoporosis. Tampoco estará permitido el consumo de alcohol, pues contaminaría el sistema de reciclaje de líquidos, como se ha comprobado en la Estación Espacial Internacional.

El ADN más largo del mundo



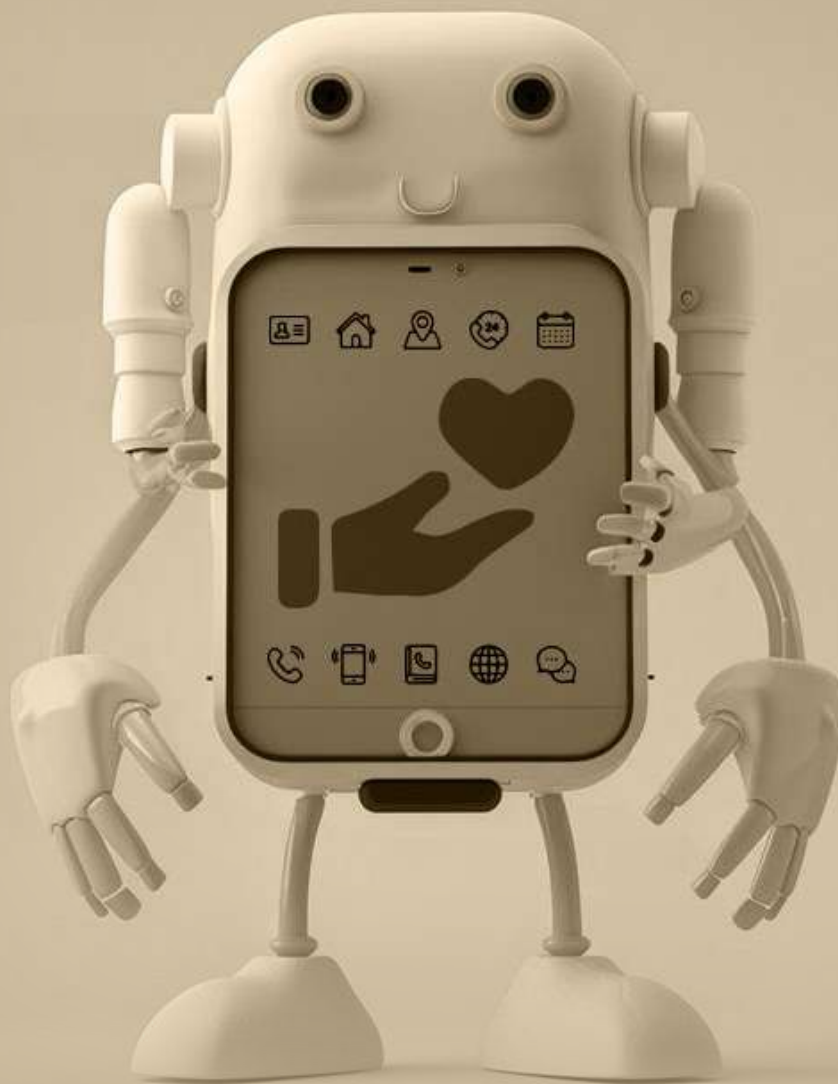
Investigadores han anunciado haber secuenciado la cadena de ADN más larga de los seres vivos. Este pequeño helecho que habita en las montañas de la isla del Pacífico conocida como Nueva Caledonia contiene un genoma que ¡alcanzaría los cien metros de longitud si lo desenrolláramos! En comparación, el genoma humano es apenas de dos metros.

Como se sabe, la molécula del ácido desoxirribonucleico lleva las instrucciones necesarias a fin de que cada individuo de todos los reinos que conforman la vida se desarrollen a su manera. Una de sus características más sorprendentes es que, no obstante su pequeñez (la

de nosotros los humanos es de diez milésimas de milímetros), el genoma ordena en su momento lo que cada célula debe hacer. Es un ejemplo soberbio de economía y eficiencia.

Los investigadores se preguntan por qué una planta insignificante, que lleva por nombre *Tmesipteris oblancoelate*, si bien muy antigua, presenta tan descomunal cantidad de material genético. ¿Para qué le sirve? De hecho, han encontrado que muchas especies vegetales también contienen un genoma cuantioso, aunque no tanto como el helecho mencionado. Es claro que la evolución biológica no deja de sorprendernos.





INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PSICOTECONOLOGÍA

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

En 1966 un profesor del MIT, Joseph Weizenbaum, publicó un extracto de una conversación entre una persona y una psicoterapeuta digital llamada Eliza. El usuario podía interactuar con Eliza a través de una máquina eléctrica conectada a un computador central y recibir una respuesta inmediata:

E: ¿TE MOLESTA ALGO?

U: Los hombres son todos iguales.

E: ¿CUÁL ES LA CONEXIÓN, SEGÚN TÚ?

U: Siempre nos están molestando por algo.

E: ¿SE TE OCURRE ALGÚN EJEMPLO CONCRETO?

U: Bueno, mi novio me hizo venir aquí.

E: ¿ES IMPORTANTE PARA TÍ QUE TU NOVIO TE HAYA

HECHO VENIR AQUÍ?

U: Dice que soy infeliz la mayor parte del tiempo.

E: SIENTO OÍR QUE SEAS INFELIZ

U: Es verdad, soy infeliz.

E: ¿ME PUEDES EXPLICAR QUE TE HACE INFELIZ?

“Ha sido difícil convencer a algunos sujetos que ELIZA (con su guion actual) no es humano”, escribió Weizenbaum en el mismo artículo. ELIZA, el primer *Chatbot*, era un software que tomaba datos de entrada - administrados por el usuario - y generaba una respuesta plausible mediante reglas lógicas. El nombre del programa se inspira en Eliza Doolittle, un personaje de una obra de teatro de George Bernard Shaw que hace del lenguaje una ilusión. Con su voz, se hace pasar por una mujer sofisticada y de clase alta, pese a ser una florista de un barrio pobre. Las palabras, o el juego que se hace con ellas, pueden engañarnos.



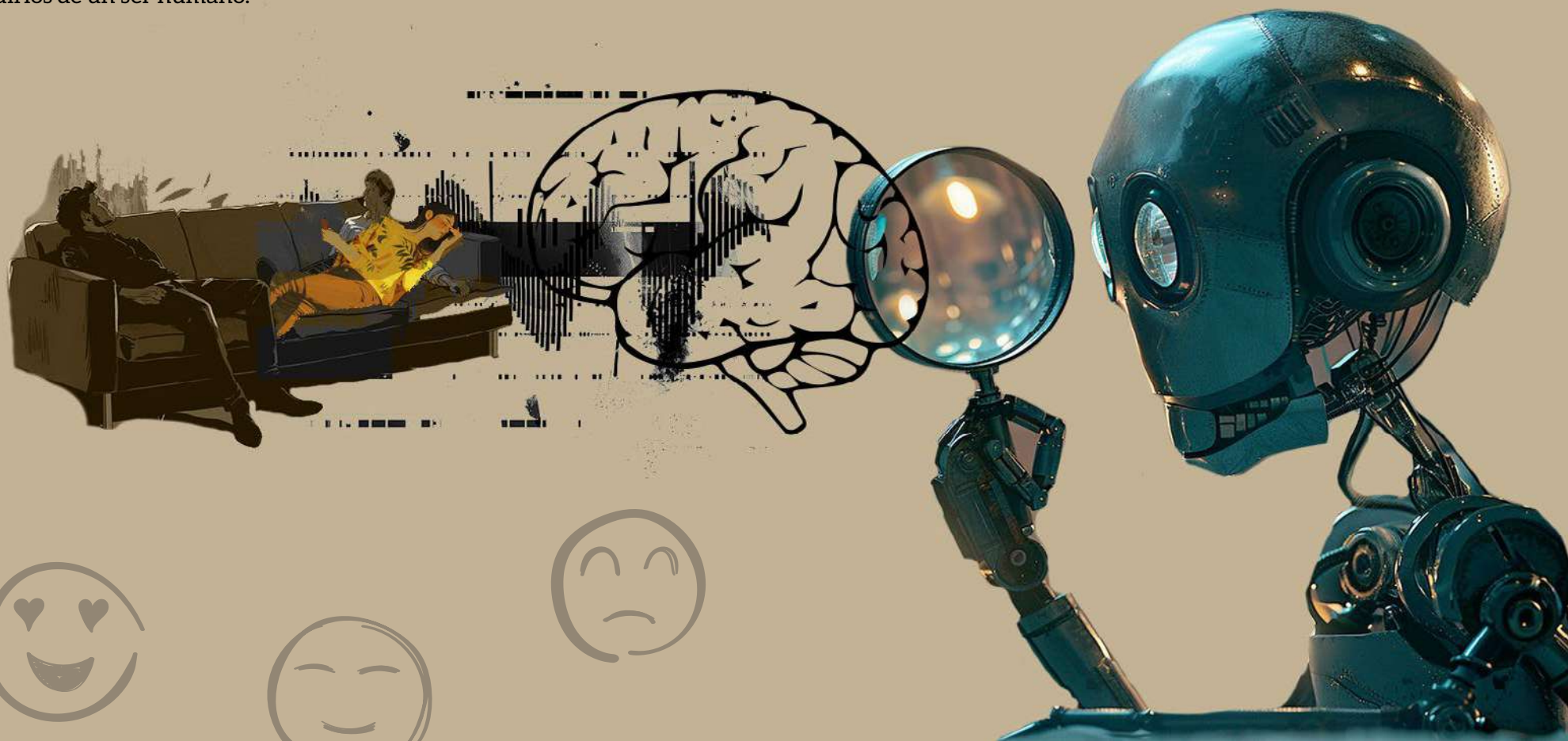
El programa ELIZA simulaba a una psicoterapeuta de la escuela rogeriana, un tipo de psicoterapia desarrollada por Carl Rogers. Considerada una terapia humanista, se centra en la relación horizontal entre el terapeuta y su cliente (nunca llamado paciente).

Durante la sesión, el psicoterapeuta repite de vuelta las palabras de su cliente para que se escuche a sí mismo y genere una perspectiva propia. En el caso del *software*, incita al usuario a continuar la conversación y simula un diálogo coherente. Sin proponérselo, resalta un componente psicológico del ser humano: el fenómeno de la transferencia. Los usuarios le atribuyen al programa entendimiento, empatía y otras características humanas; lo que les permite abrirse y sentir afecto hacia él.

ELIZA fue de los primeros programas de lenguaje que cimentaron el camino para el desarrollo de la inteligencia artificial. En comparación con los grandes modelos de lenguaje (LLM) actuales, que utilizan redes neuronales artificiales, ELIZA es extremadamente rudimentario. Programas como *ChatGPT* simulan con tanta eficiencia el lenguaje natural que es imposible distinguirlos de un ser humano.

Apenas en el 2021 el ingeniero de Google, Blake Lemoine, insinuó que *Chatbot* en el que trabajaba era consciente. Esto nos remonta a las descripciones de Weizenbaum y al fenómeno de la transferencia. Parece inevitable atribuirle características humanas a los objetos que nos rodean, sobre todo a aquellos con los que interactuamos más a menudo y nos sentimos identificados.

Cuando el equipo de Boston Dynamics publicó un video donde sus técnicos pateaban a una máquina bípeda para demostrar su habilidad para mantener el equilibrio, recibieron decenas de cartas de personas preocupadas, e incluso indignadas, por la integridad del robot. En la película *Her* (2013), el protagonista Theodore se enamora de Samantha, un sistema operativo similar a Siri o Alexa. Este fenómeno, utilizado de forma responsable, podría ser una herramienta en el mejoramiento de la salud mental de las personas.





COMPORTAMIENTO
 DUDAS
 pensamientos
 experiencias
 EMOCIONES
 percepción

El término “salud mental digital” se refiere a las aplicaciones tecnológicas que pueden mejorar -mas no reemplazar- la evaluación y el soporte en la salud mental. En los últimos años, la I.A. se ha convertido en la herramienta digital más prometedora y de mayor inversión, por lo que sus aplicaciones se hacen cada vez más palpables en el área de la salud.

Instrumentos digitales como los *chatbots*, apps e incluso realidad virtual pueden ofrecer asistencia personalizada desde espacios remotos. Además, su capacidad para analizar y procesar grandes cantidades de datos ha significado un paso gigantesco tanto en la investigación como en la práctica clínica.

Por ejemplo, el *fenotipo digital* es la huella que deja cada individuo en su *smartphone* u otros dispositivos. A través de estos datos se puede entender mejor el comportamiento de cada persona, tener una visión más profunda de sus gustos, de dónde se mueve, dónde pasa mayor tiempo y cuáles son sus intereses.

Este método combina las observaciones tradicionales de las emociones y el comportamiento para detectar patrones que no son tan evidentes durante la conversación con el terapeuta. Combinado con otros datos como el uso de las redes sociales o mensajería, se puede generar una imagen bastante completa sobre cómo una persona interactúa con el mundo. En un futuro, podría utilizarse como herramienta diagnóstica y para crear planes de tratamiento individualizados en problemas de la adicción, trastornos del estado de ánimo, trastornos del sueño y prevención del suicidio.

Por otro lado, la detección de enfermedades mentales utilizando procesadores de lenguaje natural (PNL), la tecnología de aprendizaje automático utilizado en la I.A., ha incrementado de manera significativa. Cada vez más psicólogos emplean herramientas básicas de PNL para analizar sus sesiones en la terapia. Esto no sólo beneficia al paciente, sino que ayuda al terapeuta evaluarse a sí mismo y a mejorar sus técnicas.



Además, en un sistema de salud rebasado y carente de personal, podría disminuir la carga de trabajo y agilizar la clasificación de los pacientes para dar prioridad a los que más lo necesitan. Sin mencionar las ventajas para aquellos que no tienen la posibilidad material de atender a una clínica especializada. Sin embargo, debemos tener mucho cuidado. La inteligencia artificial avanza mucho más rápido que nuestra capacidad para entender sus consecuencias y muchas consideraciones éticas salen a flote.

La privacidad de los individuos se ve amenazada con el uso irresponsable de esta tecnología. El uso de grandes bases de datos debe ir acompañado de leyes claras en materia de transparencia, confidencialidad y privacidad. Debe asegurarse la transmisión de datos a través de canales seguros y encriptados, siempre bajo el consentimiento de los usuarios.

La psicología impulsada por tecnología I.A. se encuentra en una fase exploratoria. Conforme la I.A. se incorpore más a nuestras vidas, especialmente en las generaciones más jóvenes que ya la hacen parte de su cotidianidad, su uso en áreas como la salud mental será inevitable.

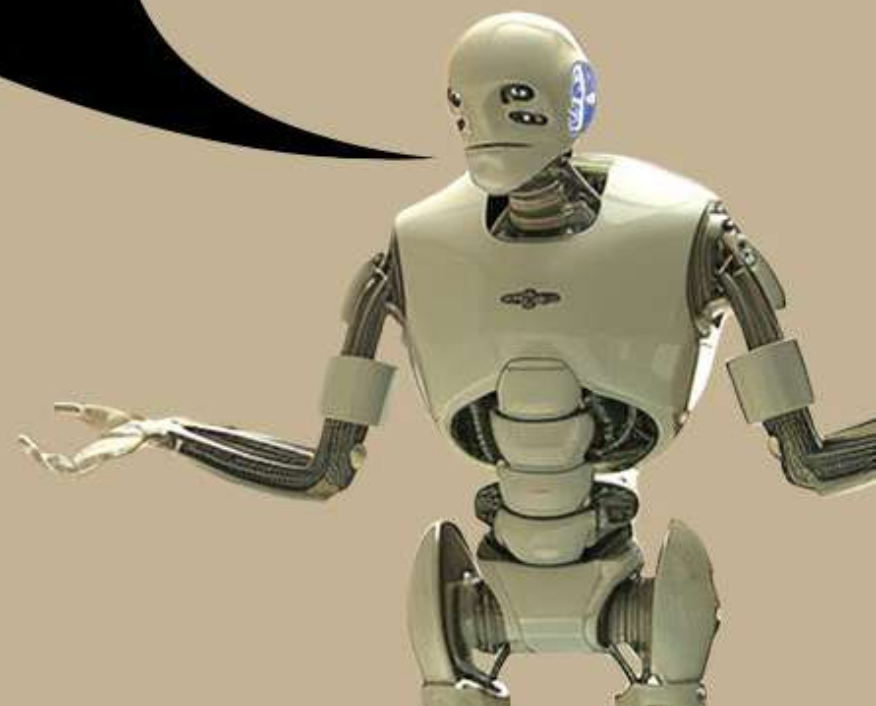
Más allá de la salud mental, expertos afirman que existen tres tipos de tareas en las que la I.A. puede intervenir: mecánica, de pensamiento y emocional. Algunos investigadores proponen que la I.A. tomará control de la mecánica (robótica) y de pensamiento (procesamiento, análisis, interpretación de datos), pero la emocional (comunicación) debería reservarse para los seres humanos. Aunque el panorama es prometedor, es importante recordar que la I.A. es una herramienta y está ahí para complementar a los profesionales, no para reemplazar las interacciones humanas.



***MARIO DE LA PIEDRA WALTER**
Médico por la Universidad La Salle
y neurocientífico por la Universidad
de Bremen. En la actualidad cursa su
residencia de neurología en Berlín,
Alemania.

La detección de enfermedades mentales utilizando procesadores de lenguaje natural (PNL), la tecnología de aprendizaje automático utilizado en la I.A., ha incrementado de manera significativa. Cada vez más psicólogos emplean herramientas básicas de PNL para analizar sus sesiones en la terapia. Esto no sólo beneficia al paciente, sino que ayuda al terapeuta evaluarse a sí mismo y a mejorar sus técnicas.

EMPATÍA
comunicación
PERSPECTIVA



Septuagésimo
aniversario del CERN

LA BANDA DE LOS TEORICOS REBELDES

CARLOS CHIMAL

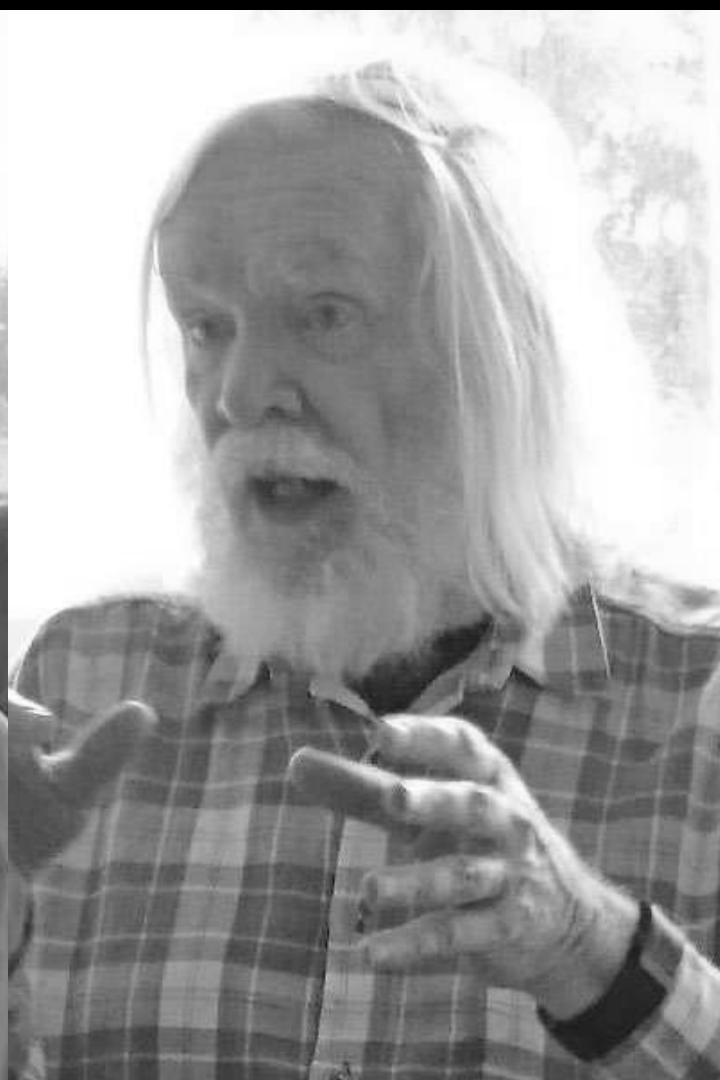
En su septuagésimo aniversario la Ciudad Escéptica está poblada sobre todo de "factualistas", cazadores de partículas cuya misión es montar un experimento viable y observar con criterio, es decir, realizando un análisis sensato, fáctico, estadístico sobre lo que ha sucedido. Por eso la llamó ciudad escéptica, pues es un sitio donde nada se da por sentado y todo debe de ser demostrado mediante hechos experimentales.



LUIS ÁLVAREZ
GAUMÉ



ÁLVARO
DE RÚJULA



JOHN ELLIS

Sin embargo, hasta hace pocos años hizo de las suyas ahí un pequeño, pero selecto grupo de investigadores dentro del departamento de Física Teórica. Durante décadas tuvo su guarida en algunas oficinas del CERN una *trinca infernale* que se movía entre estrictos experimentalistas, formada por Álvaro de Rújula, John Ellis y Luis Álvarez Gaumé.

Ellos representaban una especie de oráculo al que sus contrapartes recurrían cuando no tenían idea de qué buscaban ni por dónde deberían seguir buscando "lo desconocido". Hoy en día hay otros físicos teóricos que han tomado su lugar, pero pocos como este singular trío que vivió una época de suspenso, más tarde de auge en la Ciudad Escéptica.

Conocí Álvaro, John y Luis hace veinticinco años. Siempre fue un desafío sostener la charla con ellos, pues su entrenamiento crítico los hacía ver moros con tranchetes, para decirlo de una manera coloquial. En realidad, no es que inventaran retruécanos ideológicos, sino que sabían descubrir el gorgojo negro en el arroz. Fueron maestros en el oficio de esgrimir genuinos argumentos físicos que, casi resulta obvio decirlo, se rozaban con la esfera de la filosofía, fenomenológica sobre todo.

Álvaro de Rújula defendió los estudios astrofísicos en el bastión de la física de partículas. El tiempo le ha dado la razón. Cuando la sociedad ginebrina estuvo preocupada porque las colisiones de iones pesados en CERN pudieran producir pequeños hoyos negros que termina-

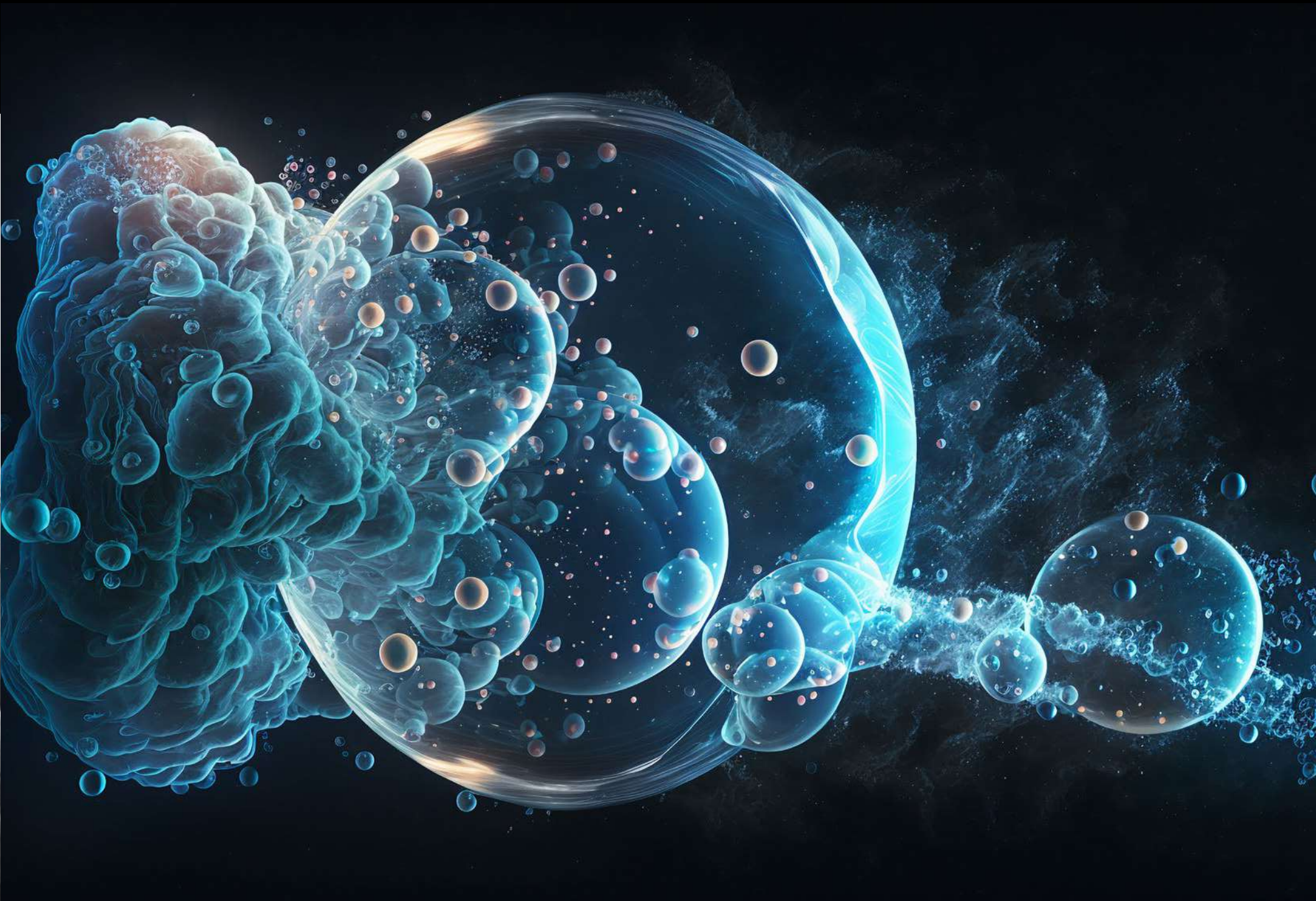
ran por engullirse la Tierra, Álvaro se encargó de que supieran que el choque de tales rayos en el espacio o con la Luna no provocan tales cataclismos. Sirvió de argumento contundente para calmar los ánimos ciudadanos.

En alguna ocasión Álvaro me habló de su idea del vacío, que está lleno de eventos tan cortos y suceden en distancias tan pequeñas que, a lo lejos, parece como si no pasara nada, como si estuviera vacío. Sin embargo, si nos acercamos veremos las fluctuaciones entre lo que es y la nada.

Las partículas que se crean desde la nada tienen una realidad potencial, virtual, que puede realizarse si adquieren la energía suficiente. Viven en una especie de limbo hasta que algún trozo de energía las rescata. Y cuanto más pequeña es la masa de las partículas que se crean y destruyen en el vacío, más fácil será extraerlas de esa zona trémula, indecisa entre ser y no ser, y llevarlas al mundo de las partículas reales.

Al igual que John Ellis y Álvarez Gaumé, de Rújula pensaban que existe una serie de partículas en una zona oscura, vacía en apariencia, que esperan ser descubiertas. He aquí el nuevo propósito del LHC y los experimentos que se han montado a su alrededor. En ellos los teóricos tienen varias cosas que decir en los próximos años.

Se espera que en las colisiones de altísimas energías entre protones se observen algunas de estas nuevas partículas de manera indirecta mediante los efectos de su participación como partículas virtuales en determinados y muy raros procesos de decaimiento.



Al estudiar tales procesos, los experimentos pueden examinar escalas de masas mucho mayores a las que se pueden obtener directamente mediante el LHC. Esto es así dado que la mecánica cuántica y el principio de incertidumbre de Heisenberg permiten que las partículas virtuales adquieran masas que no están limitadas por la energía del sistema. Las investigaciones basadas en partículas virtuales se hallan limitadas por la precisión de las mediciones, no tanto por la energía del colisionador.

John Ellis me contó cómo surgió la idea de los “diagramas del pingüino”, mientras estudiaba ciertos aspectos de la violación de la simetría, según la cual se requiere de una explicación al hecho de que se haya roto la paridad que existía en el Universo primitivo de materia y antimateria.

En la primavera de 1977, junto con Mark Chanowitz y Mary K. Gaillard, predijeron la masa del quark b antes de que fuera encontrado, unas semanas más tarde en Fermilab por Leon Lederman y su equipo. Entonces John se puso a estudiar su fenomenología.

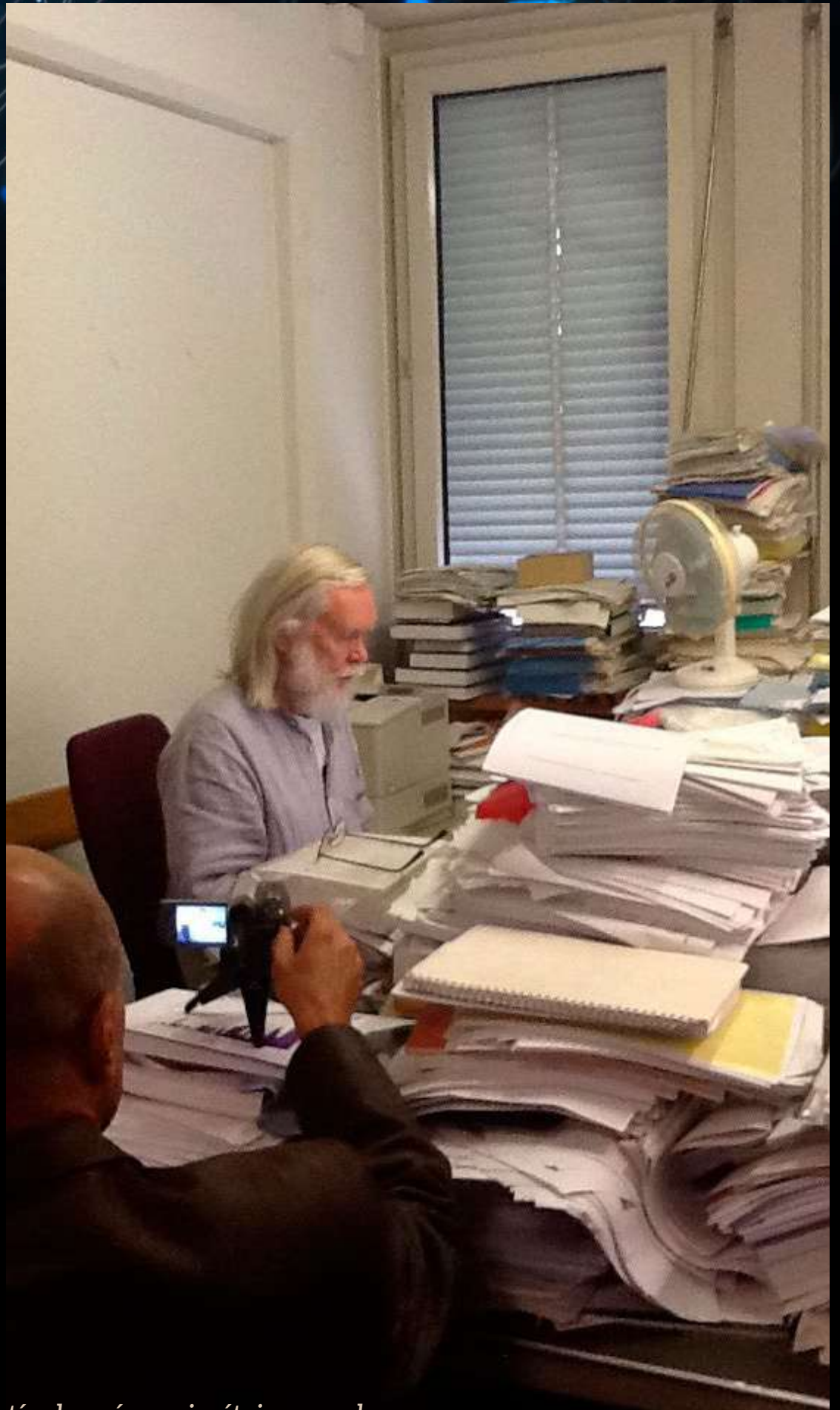
Hoy en día una región para experimentar es aquella donde se producen las transiciones raras de quarks b a quarks s , en las que aparece un par de muones, llamado dimuón. En tales procesos el quark cambia de sabor pero no de carga, lo cual está prohibido por el Modelo Estándar en ciertas condiciones.

No obstante, en diagramas de orden superior, como los “pingüinos electrodébiles” de John Ellis, es factible que haya posibilidades de descubrir nuevas partículas. El experimento LHC-b quizá sea un buen lugar para encontrar esta clase de pingüinos.

Beneficiados de manera indirecta por el trabajo de estos notables teóricos han sido los mexicanos que estudian partículas cósmicas, como es el caso del grupo de la BUAP.

Beneficiados de manera indirecta por el trabajo de estos notables teóricos han sido los mexicanos que estudian partículas cósmicas, como es el caso del grupo de la BUAP.





Ellis es partidario de la construcción de CLIC (Compact Linear Collider), pues piensa que ahí está el futuro de la Física de Altas Energías, y sin duda Álvaro de Rújula y Luis Álvarez Gaumé estarían de acuerdo. La existencia de partículas súper simétricas es algo por lo que también los tres pondrían las manos en el fuego. El que existan otras partículas como las que conocemos, pero con diferentes masas, ha hecho que se pronuncien por una Teoría de la Gran Unificación.

Visto de una manera, el Modelo Estándar predice que todas las partículas deberían carecer de masa, cosa que contradice lo que observamos a nuestro alrededor. Entonces los teóricos pensaron que habría por ahí un campo y una partícula que provocaba la aparición de los cuerpos masivos. Finalmente se encontró el mecanismo de Higgs, pero causó sorpresa que fuese tan liviano, cuando su interacción con partículas que predice dicho Modelo Estándar tiende a hacerlo más pesado.

Una explicación sería que existieran partículas súper simétricas, las cuales tendrían sus propias masas, de manera independiente a su interacción con las del Modelo Estándar.

Sabemos que, según esta teoría, existen dos clases de partículas: bosones y fermiones, dependiendo de su espín. Estos últimos tienen la mitad de una unidad de espín, mientras que los bosones tienen 0, 1 o 2 unidades de espín. Según SUSY (Súper simetría), cada partícula del Modelo Estándar tiene una gemela que difiere en media unidad de espín.

La existencia de partículas súper simétricas es algo por lo que también los tres pondrían las manos en el fuego. El que existan otras partículas como las que conocemos, pero con diferentes masas, ha hecho que se pronuncien por una Teoría de la Gran Unificación.

Implica que bosones y fermiones se acompañan mutuamente; conservan una liga, a pesar de sus diferencias, por ejemplo, el que los primeros permanezcan por lo general todos en el mismo estado, mientras que los fermiones prefieren un estado diferente para cada uno.

Recuerdo que Álvarez Gaumé citó a Heráclito cuando me habló de sus ideas acerca de la materia oscura. Se refirió a la armonía visible e invisible; a que, al fin y al cabo, la más importante de entender es la segunda. Partidario decidido de las súper cuerdas, dimensiones que quedaron "escondidas" en un momento después del Big bang, todo su trabajo se basó en observaciones experimentales, tanto las que han salido del CERN como las que se han obtenido en los diversos satélites y sondas espaciales.

Ellis, de Rújula y Álvarez Gaumé coincidieron en que buscar partículas SUSY, las más ligeras jamás descubiertas y eléctricamente neutras que interactúan débilmente con las partículas del Modelo Estándar, podría abrir una rendija hacia el enigmático mundo de la materia oscura.

Para la *trinca infernale*, el Modelo Estándar explica solo una parte del rompecabezas; necesita de SUSY para iluminar el resto del cuadro, que se ve muy negro.

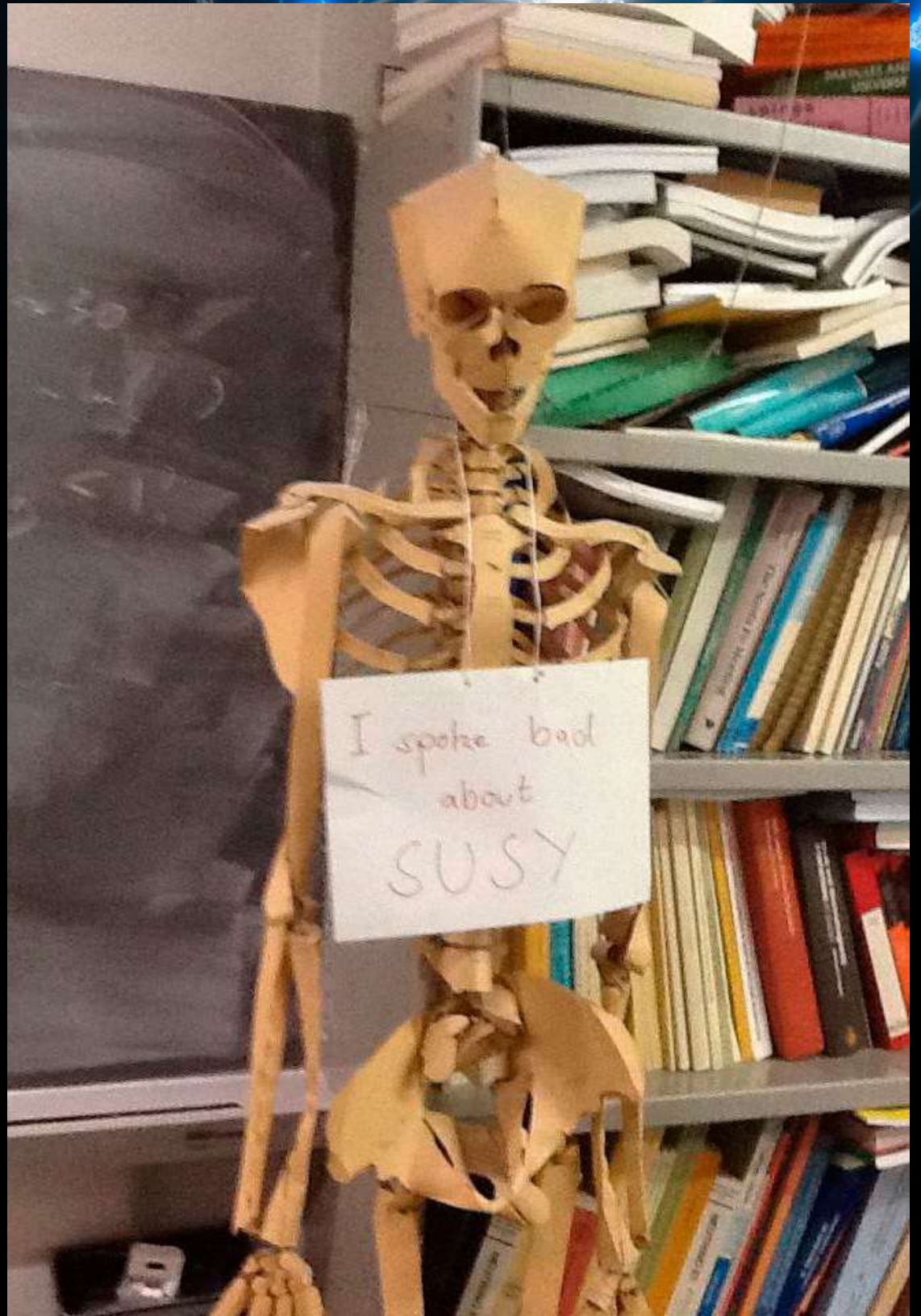
John Ellis me lo dijo así: "Apenas ahora podemos decir que empezamos a entender el universo en un puñado de átomos", parafraseando la famosa línea que exclama el príncipe Hamlet en la famosa obra de Shakespeare.

Sucede en el segundo acto, cuando los amigos del príncipe tratan de reconfortarlo, pues se siente prisionero de su propio reino, de manera que no alcanza a sentirse libre, ni mental ni físicamente. Entonces Hamlet les responde:

"O God, I could be bounded in a nutshell and count myself a king of infinite space—were it not that I have bad dreams".

Que podría traducirse así:

"En verdad no me importaría estar encerrado en una cáscara de nuez y aun ser un rey del espacio infinito... donde desaparezan las pesadillas".



● Un poco en serio, un poco en broma, a la entrada de la oficina de John Ellis se encuentra este esqueleto de papel, advirtiéndole a quienes no creen en la Súper Simetría cuál puede ser su suerte si no lo piensan dos veces.



EN PORTADA:
Nave principal de la Sagrada Familia. Foto: F. Daumal.

SUPLEMENTO
MERCURIO VOLANTE

CARLOS CHIMAL
EDITOR

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ
ARTURO CAMPOS
JULIÁN D. BOHÓRQUEZ CARVAJAL
ALBERTO CASTRO LEÑERO
ANDRÉS COTA HIRIART
FRANCESC DAUMAL I DOMÈNECH
CARMINA DE LA LUZ RAMÍREZ
MARIO DE LA PIEDRA WALTER
LORENZO DÍAZ CRUZ
CARLOS FRANZ
SIANYA ALANIS GONZÁLEZ PEÑA
JOSÉ GORDON

GERARDO HERRERA CORRAL
ROALD HOFFMANN
PIOTR KIELANOWSKI
JUAN LATAPÍ ORTEGA
ARTURO MENCHACA ROCHA
CELINA PEÑA GUZMÁN
GABRIELA PÉREZ AGUIRRE
OCTAVIO PLAISANT ZENDEJAS
LUIS FELIPE RODRÍGUEZ
JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON
JUAN TONDA MAZÓN
JUAN VILLORO
COLABORADORES

HIPÓCRITA LECTOR

MARIO ALBERTO MEJÍA
DIRECTOR GENERAL

IGNACIO JUÁREZ GALINDO
DIRECTOR EDITORIAL

ROBERTO CORTEZ
REVISIÓN

OSCAR COTE PÉREZ
DISEÑO EDITORIAL

GERARDO TAPIA LATISNERE
DIRECTOR DE RELACIONES PÚBLICAS

BEATRIZ GÓMEZ
DIRECTORA ADMINISTRATIVA

Hipócrita Lector, diario de lunes a viernes. Dirección: Monte Fuji 20, Fraccionamiento La Cima, Puebla. CP. 72197 Correo: atencion.hipocritalector@gmail.com Editor responsable: Ignacio Juárez Galindo Permisos Indautor, Licitud y Contenido: En trámite Todos los materiales son responsabilidad exclusiva de quien los firma.