

MEMORIAS DE UN SPECKLE-MANÍACO¹

El autor nos cuenta cómo desarrolló en Rosario la física aplicada, más concretamente la óptica, y dentro de ésta los múltiples usos del fenómeno de speckle.

■ **Guillermo H. Kaufmann**

Investigador Superior de CONICET (jubilado)

ghkaufmann@gmail.com

¹ Editor asignado: **Rubén Piacentini**

■ MIS ORÍGENES

Nací en Rosario el 10 de Octubre de 1947, hijo del contador Daniel y de la ama de casa Raquela Goldin. De mis primeros años recuerdo las frecuentes visitas a la casa de mis abuelos maternos, la cual tenía un enorme jardín con una hamaca y otros juegos. Además, mi tío materno estudiaba ingeniería civil y yo me sentía atraído por su gran mesa de dibujo técnico, su caja de compases, su regla de cálculo y la tinta china que usaba. También recuerdo que en mi casa me divertía escuchar por la radio al *Llanero Solitario*, un radioteatro para chicos de mi edad y otros programas similares.

A la edad aproximada de 6 años, me asociaron al Club Atlético del Rosario, más conocido por Plaza Jewell, que fue fundado por un grupo de ciudadanos ingleses que a mediados del siglo XIX vinieron a construir una parte del ferrocarril. En dicho club se practicaba únicamente tenis y rugby para los varones, y hockey para las mujeres. Desconozco la causa por la cual me decidí a aprender a jugar al tenis, pero muy pronto dicho deporte se convirtió en una pasión que siguió vigente hasta

el presente. Recuerdo que los sábados a la mañana asistía a las clases de tenis que eran impartidas por un profesor contratado por el club. Sin embargo, pasado un año advertí que también me interesaría poder tomar clases y jugar durante algunos días de la semana. Por esta razón decidí asociarme al Club Gimnasia y Esgrima donde había una escuela de tenis mejor organizada. Si bien el profesor de esa escuela impartía sus clases durante la semana, pronto descubrí que todos los sábados y domingos se ausentaba de la ciudad porque viajaba a Mar del Plata donde entrenaba a un único alumno que tenía una edad similar a la mía. Un tiempo después me enteré que este alumno se llamaba Guillermo Vilas. Unos años más tarde, cuando Vilas llegó a estar en el *top tres* de los tenistas del mundo, comprendí que tener un profesor excelente es una condición necesaria pero no suficiente para triunfar en cualquier disciplina.

Cursé mis estudios primarios asistiendo a una escuela pública que quedaba cercana al departamento donde vivía junto a mis padres y mi hermana menor. De esos

años recuerdo especialmente a la única maestra que tuve durante los siete años que asistí a dicha escuela. También recuerdo a dos amigos muy cercanos quienes a veces venían a jugar a mi casa o yo los visitaba a ellos. Muchas veces también nos encontramos en la plaza San Martín que quedaba a sólo dos cuadras de mi casa.

Cuando llegó el tiempo de elegir una escuela para seguir mis estudios secundarios, mis padres me sugirieron prepararme y rendir el examen para ingresar a la Escuela Superior de Comercio, dependiente en ese entonces de la Universidad Nacional del Litoral, ahora la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Según mis padres, el plan de estudios era lo suficientemente amplio como para después optar y continuar distintas carreras universitarias. Por entonces, dicha escuela era bastante exigente y varios de sus profesores también enseñaban en distintas facultades pertenecientes a la universidad local. En particular, me interesaban las asignaturas relacionadas con las ciencias exactas como matemáticas, física, química, aunque también me destacaba en dibujo y en historia.

Por estas razones, en quinto año decidí anotarme en el curso de ingreso a la Facultad de Ciencias Exactas y así comenzar la carrera de ingeniería civil.

■ EN LA UNIVERSIDAD

En la universidad cursé y aprobé con muy buenas calificaciones todas las asignaturas correspondientes a los dos años del ciclo básico. Sin embargo, después que comencé a cursar algunas materias específicas de la carrera elegida, tales como Mecánica Técnica, Geología, Topografía e Hidráulica, advertí que la ingeniería civil sólo me serviría para resolver problemas ya resueltos. Dado que a mí me interesaba una carrera mucho más creativa, pronto llegué a la conclusión que hubiese tenido que estudiar arquitectura en lugar de ingeniería civil. Lamentablemente, arquitectura tenía una duración de seis años y entonces reflexioné que el cambio de carrera me insumiría demasiado tiempo. Por estas razones, en 1967 decidí mi cambio a la carrera de Licenciatura en Física recientemente creada en la Facultad, la cual tenía el mismo ciclo básico que todas las ingenierías. Esta es la causa por la cual desde esa época me definí como un "arquitecto frustrado". Sin embargo, para completar mi vocación por el arte, unos meses más tarde decidí ingresar como alumno al taller de dibujo y pintura del pintor Pedro Giacaglia, conocido integrante del grupo Litoral, pintor de vanguardia y Ciudadano Ilustre de la ciudad. Este fue el comienzo de mi largo interés por la pintura, el cual continúa como *hobby* hasta la actualidad.

Al llegar al último año de la carrera, como en Rosario la física experimental estaba muy poco desarrollada, recuerdo mi viaje a Buenos Aires para buscar un grupo de investigación donde hacer mi tesina

de licenciatura. Después de visitar laboratorios de distintas instituciones, decidí aceptar una oferta del Grupo de Sólidos perteneciente al Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Meses más tarde, en septiembre de 1970 defendí mi tesina en la recientemente creada UNR. Cabe mencionar que así me convertí en el segundo físico puro egresado de dicha carrera, considerando que los alumnos precedentes habían cursado parte de sus estudios en el Instituto Balseiro.

■ EFÍMERO PASO POR BUENOS AIRES

Dos meses después me casé con Carolina Gorfinkel, quien era mi novia desde mi ingreso a la universidad, y juntos nos fuimos a vivir a Buenos Aires. Allí concursé y obtuve un cargo de Ayudante de Primera con dedicación exclusiva en la FCEN-UBA.

Ahora bien, en el Grupo de Sólidos se estudiaban materiales cerámicos ferroeléctricos del tipo titanato o zirconato de plomo por su importancia como transductores piezoeléctricos. Por esta razón en mi tesina me dediqué al estudio experimental de algunos modos de vibración de cilindros piezoeléctricos. Una vez obtenido el título de grado comencé a cursar distintas materias de posgrado como parte de mi Doctorado en Física. Me interesa destacar que el director de mi tesis doctoral, Guido Bonfiglioli, era un destacado físico italiano que se había radicado en nuestro país hacía poco tiempo, y fue quien me propuso estudiar materiales cerámicos piezoeléctricos dopados con lantano que los vuelve transparentes y tienen diversas aplicaciones electroópticas. En tal sentido, para estudiar la difusión de la luz por estos materiales, construí un equipo que permitía mejorar la

resolución de un fotómetro a través de la determinación de la derivada del espectro angular. Este trabajo publicado en la revista *Applied Optics* me brindó suficientes antecedentes para obtener mediante un concurso el cargo de Jefe de Trabajos Prácticos con dedicación exclusiva.

En el año 1973 se produce el retorno al país de Juan Perón y su posterior elección como presidente, hechos que produjeron importantes cambios en la vida universitaria. Luego de su muerte en 1974, se produce la intervención de la UBA y todo el personal docente de la FCEN fue dejado cesante. En ese tiempo nuestro hijo mayor Uriel tenía cinco meses, así que después de una breve estadía en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, decidí regresar a Rosario con una beca del Consejo de Investigaciones de la UNR.

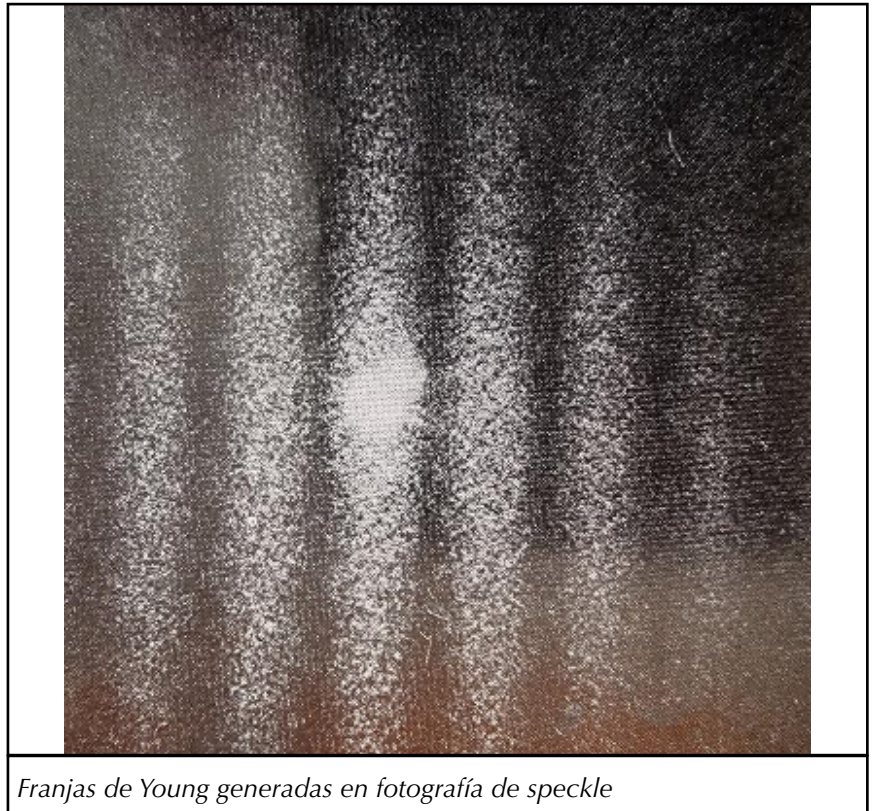
■ DE VUELTA A ROSARIO Y EL SPECKLE

En ese tiempo, como la beca de la UNR me permitía trabajar en cualquier grupo de investigación de la universidad, después de analizar distintas opciones decidí comenzar una nueva tesis doctoral en el Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería. En este instituto trabajaba un profesor miembro de la Carrera del Investigador del CONICET llegado recientemente de Bélgica, que investigaba en la aplicación de técnicas ópticas a la medición de deformaciones mecánicas. Su nombre era Rodolfo Rasia y con él conocí por primera vez el fenómeno de *speckle* el cual luego me acompañaría durante toda mi carrera científica.

Cuando se ilumina cualquier superficie rugosa con un haz de luz altamente coherente, como el proveniente de un láser, la luz difundi-

da presenta una estructura de tipo granular. Este fenómeno llamado en inglés *speckle* (punteado), se produce por la interferencia de las ondas difundidas por cada microelemento del objeto. La distribución de *speckle* se produce en todo el espacio que rodea al objeto y está caracterizada por pequeñas regiones de alta luminosidad rodeadas por otras oscuras.

La aplicación del fenómeno de *speckle* a la medición de deformaciones mecánicas había sido desarrollada hacía muy pocos años, en 1968, por investigadores ingleses que trabajaban en el *National Physical Laboratory* (NPL). Esta aplicación se basa en el hecho que la distribución de *speckle* es solidaria con el objeto que la produce y por lo tanto resulta posible detectar movimientos de este último a partir del registro fotográfico de la granulosidad correspondiente a dos posiciones del mismo. Una vez revelada la placa fotográfica, la misma registra dos distribuciones de *speckle*, de modo que la distancia entre los pares de *speckle* es proporcional al desplazamiento del objeto. Este último se obtiene iluminando la placa fotográfica con un láser sin expandir para así obtener un halo de difracción modulado por franjas de Young que tienen una interfranja inversamente proporcional al desplazamiento correspondiente a ese punto (ver Figura a continuación). Esta técnica se denomina fotografía de *speckle* y se engloba junto a otros métodos que describiremos más adelante en la llamada metrología de *speckle*. Todas las técnicas de *speckle* tienen la ventaja de que el material a ensayar puede ser cualquiera, las mediciones se pueden realizar sin entrar en contacto con el objeto y los resultados se obtienen sobre toda la superficie del mismo.



Franjas de Young generadas en fotografía de speckle

En síntesis, mi nueva tesis doctoral consistió en la aplicación de la fotografía de *speckle* a la determinación de los desplazamientos generados por un prisma sometido a carga parcial. Este estudio tenía gran importancia en el diseño de estructuras debido al creciente uso del hormigón pretensado, dado que la fuerza de pretensado da lugar a fuertes tensiones locales en la zona donde se aplica la misma. Los resultados experimentales se compararon con los obtenidos mediante la aplicación del método de elementos finitos usando una formulación tridimensional.

Después de un año de trabajo, mientras mi tesis se desarrollaba normalmente, otro hecho complicó la prosecución de mis tareas de investigación. Imprevistamente, un día, mi nuevo director de tesis se despertó habiendo perdido la me-

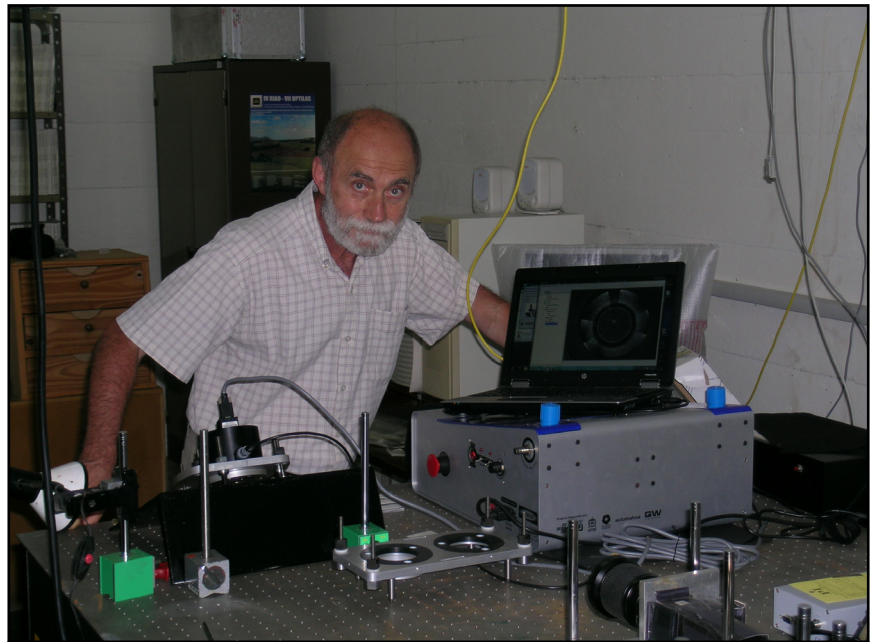
moria de los últimos años de su vida. No sabía quién era la mujer que estaba durmiendo en su cama ni quien era el niño que dormía en el otro dormitorio de su casa. Obviamente, tampoco sabía quién era yo ni recordaba nada de lo que había aprendido sobre técnicas ópticas durante su estadía en Bélgica. Sin embargo, pese a este grave problema, debido a la experiencia adquirida en la FCEN-UBA en el campo de la óptica, pude continuar con mi tesis de doctorado sin la supervisión de un director real. Unos meses antes de defender mi tesis en julio de 1978 en la FCEN-UBA, ingresé al CONICET como Investigador Asistente y también me informaron sobre la obtención de una beca externa de la misma institución para desarrollar tareas de investigación en NPL bajo la dirección de Tony Ennos, codescubridor de la fotografía de *speckle*. Para esta época nuestra segunda

hija, Alina, todavía no había cumplido el año de edad.

El NPL es el Instituto Nacional de Metrología del Reino Unido y se dedica a desarrollar y mantener las unidades de longitud, masa, tiempo y otras pertenecientes al Sistema Internacional de Unidades. Además, es muy conocido porque posee un retoño del *Newton's apple tree*, árbol que estaba en la casa de Newton y que dicen algunos que mirando la caída de una manzana lo motivó para desarrollar la ley de gravitación universal. Allí, en NPL desarrollé un sistema de lectura automático para medir los desplazamientos y deformaciones generados por una fotografía de speckle de doble exposición. Este sistema se basaba en la proyección de las franjas de Young sobre un array lineal de fotodiodos conectado a una computadora a través de un conversor analógico-digital.

Después de un año de beca en el Reino Unido, regresé a Rosario donde estuve trabajando en la determinación de los errores que produce el halo de difracción en las franjas de Young generadas en fotografía de *speckle*. Mediante un método de simulación pude determinar los errores en función de la visibilidad y el número de las franjas. En otro trabajo posterior demostré que la aplicación de la transformada de Fourier permite minimizar los mencionados errores.

Luego, en 1980 se crea el Instituto de Física Rosario (IFIR) dependiente del CONICET y la UNR, y conjuntamente con Rodolfo Rasia nos incorporamos al mismo para formar el Grupo de Óptica Aplicada (ver Figura a continuación). El personal de este nuevo grupo se acrecentó gracias al ingreso de dos becarias del CONICET y de la UNR, y también de varios alumnos de la Licen-



En mi laboratorio del IFIR

ciatura en Física. Al año siguiente, el CONICET me promovió a la clase Investigador Adjunto. Con el advenimiento de la democracia en 1983, el personal docente del Departamento de Física de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería de la UNR me elige como Director del mismo.

Posteriormente, con el objeto de perfeccionarme en la aplicación de las técnicas de *speckle* en ingeniería mecánica y de materiales, en Octubre de 1984 viajé a la Universidad de Michigan, EE.UU., a través de una nueva beca externa del CONICET. Un tercer hijo, Andrés, se había agregado a la familia. Durante ese año estuve trabajando como *visiting research fellow* en el *Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics* bajo la supervisión de Charles M. Vest, quien unos años más tarde se desempeñó durante dos períodos como presidente de la famosa universidad MIT. Durante mi estancia en EE.UU. investigué sobre la aplicación de ondas térmicas para

mejorar la detección de defectos subsuperficiales usando técnicas de *speckle*.

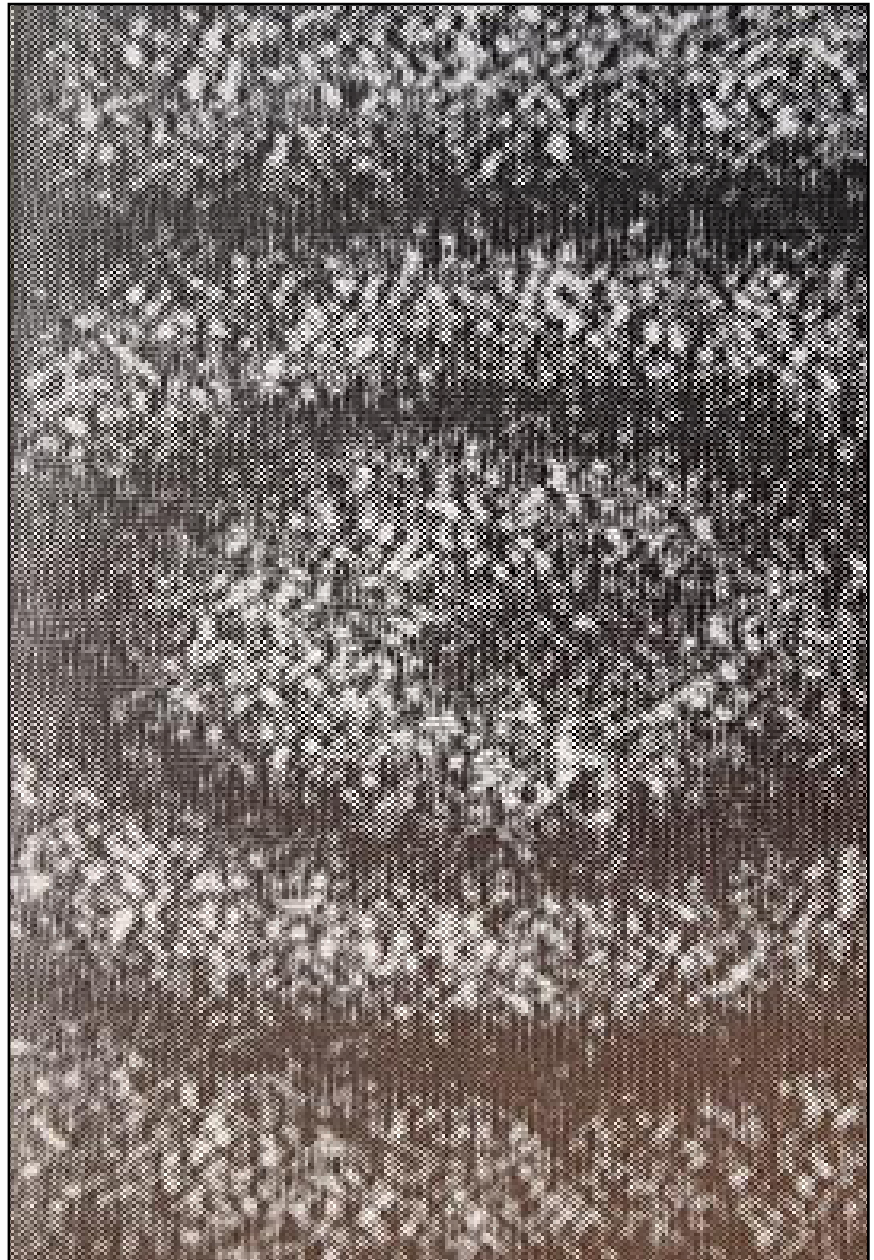
A mi regreso al país, fui promovido a la clase Investigador Independiente y trabajé en distintas aplicaciones de la fotografía de *speckle*, entre las que se destacan la determinación de parámetros de fractura en cilindros metálicos y la evaluación de deformaciones residuales. Por otra parte, durante los años 1988 y 1989 me desempeñé como miembro de la Comisión Asesora de Ciencias Físicas y Astronómicas del CONICET.

La adquisición de un sistema de procesamiento de imágenes, compuesto por una cámara tipo CCD, una plaqueta digitalizadora y una computadora personal, permitió desarrollar la técnica de Interferometría de *Speckle* Digital (en inglés, *Digital Speckle Pattern Interferometry* o DSPI). Esta técnica óptica permite la medición de deformaciones mecánicas, tanto estáticas como dinámicas, a través del análisis de fran-

jas de correlación (ver Figura a continuación). Estas franjas se generan mediante el procesamiento de los interferogramas producidos por un objeto iluminado por un láser, cuando el mismo se somete a diferentes estados de carga. Dicha técnica fue creada en respuesta a la necesidad de realizar ensayos no destructivos en ambientes industriales alejados del laboratorio, por ejemplo medir las amplitudes de vibración de los álabes de una turbina mientras está rotando a miles de revoluciones por minuto.

Cuando se utilizan láseres de emisión continua, el requerimiento de estabilidad es una de las limitaciones más serias de la DSPI. Sin embargo, esta limitación se puede superar usando un láser pulsado que permite la exposición del objeto en un intervalo de tiempo del orden de los 20 ns. De esta forma se pueden estudiar fenómenos transitorios de alta velocidad, como es el caso de la propagación de ondas de choque en distintos materiales. Más aún, como el grupo de Óptica Aplicada del IFIR no contaba con este tipo de láseres, en 1992 decidí solicitar al CONICET un año sabático para trabajar en el *Department of Mechanical Engineering* de *Loughborough University* del Reino Unido, institución donde fue creada la técnica de DSPI. En esta visita trabajé en el mejoramiento del contraste de las franjas de correlación que se producen cuando se utiliza un láser de doble pulso de Nd:YAG.

Sin embargo, lamentablemente la técnica de DSPI posee una seria limitación cuando se quiere medir la evolución temporal de las deformaciones. El experimento debe ser repetido varias veces usando un intervalo de tiempo diferente entre el inicio del evento transitorio y el segundo pulso luminoso emitido por el láser. Por lo tanto, el estudio de



Franjas de correlación generadas en DSPI

eventos no repetitivos como la propagación de fisuras no pueden analizarse mediante esta técnica. Una solución a este problema consiste en el registro de una secuencia de interferogramas durante la evolución de la deformación, empleando láseres continuos de alta potencia y cámaras de video de muy alta velocidad. El primer sistema práctico basado en este concepto fue desarrollado

durante mi visita a *Loughborough University* y el mismo se basó en una cámara de alta velocidad posibilitando la adquisición de mil imágenes por segundo. Debido a que esta cámara posee una velocidad de adquisición que es dos órdenes de magnitud más alta que las convencionales, el interferómetro puede ser aplicado al análisis de problemas dinámicos. Iluminando el objeto

con un láser de Nd-YAG de 5 W y colocando una celda de *Pockels* en el haz de referencia para introducir corrimientos de fase controlados en función el tiempo, resultó posible la medición de deformaciones mecánicas a una frecuencia de 1 kHz.

Las tensiones residuales a la que se encuentra sometida una componente mecánica usualmente se determinan a través de la medición del campo local de deformaciones generado por la introducción de un pequeño agujero (*hole drilling*). Si bien las deformaciones inducidas por el agujero se pueden medir fácilmente usando extensímetros eléctricos (*strain gauges*), esta técnica presenta varias limitaciones: (i) resulta muy cara cuando se deben realizar mediciones en muchos puntos debido a la necesidad de usar un gran número de extensímetros; (ii) la evaluación depende de la adhesión de los extensímetros al material a estudiar; (iii) las deformaciones generadas dependen fuertemente de la posición relativa de los extensímetros con respecto al agujero. Con el objeto de superar estas limitaciones, a mi regreso al IFIR construimos un sistema de DSP que permitía medir el campo de desplazamientos coplanares generado en las cercanías de un agujero pasante en una pequeña región de 3×3 mm. Este sistema se usó para medir la tensión que se introduce en una placa de aluminio delgada sometida a un estado de carga uniaxial. El campo de desplazamientos se calculó a través de la evaluación de la distribución de fase óptica usando un método de corrimiento de fase, el cual adquiere secuencialmente cuatro interferogramas antes y cuatro después de la introducción del agujero en la muestra. Pese a la alta concentración de tensiones generada en las cercanías del borde del agujero, se obtuvieron valores del campo de desplazamientos que acordaban razonablemente

bien con los determinados mediante una solución analítica.

■ MI INCURSIÓN EN EL DIAGNÓSTICO MÉDICO POR IMÁGENES

El creciente desarrollo de sistemas de procesamiento digital de imágenes de bajo costo, posibilitado por la introducción de minicomputadoras de alta velocidad y de gran capacidad de almacenamiento de datos, tuvo un importante impacto en el campo de la radiología. Por esta razón, en todo el mundo existía un fuerte interés para desarrollar métodos numéricos que permitiesen mejorar la calidad de las imágenes radiológicas, con el objeto de facilitar el diagnóstico y la clasificación automática de distintas lesiones.

En suma, dada la experiencia del grupo en el área de procesamiento digital de imágenes y las necesidades expuestas por distintos médicos especialistas, se comenzó a trabajar en el análisis digital de radiografías mamarias. Las investigaciones se iniciaron estudiando la detección de microcalcificaciones agrupadas, siendo éste un problema de gran importancia en mamografía. Las microcalcificaciones son pequeños depósitos de calcio con un tamaño de algunas décimas de milímetro. Estas lesiones, al encontrarse reunidas en grupos y localizadas dentro del tejido glandular aparentemente normal, pueden constituir el síntoma inicial de un cáncer oculto. Distintos autores han demostrado que aproximadamente la tercera parte de los grupos de microcalcificaciones se asociaría a un cáncer en crecimiento. También se ha demostrado que el estudio de la forma, estructura y densidad de dichas microcalcificaciones permiten diagnosticar la posible malignidad de este tipo de lesiones. Sin embargo, debido a su pequeño tamaño, el análisis visual

no siempre es definitorio y muchos casos permanecen en la categoría de dudosos.

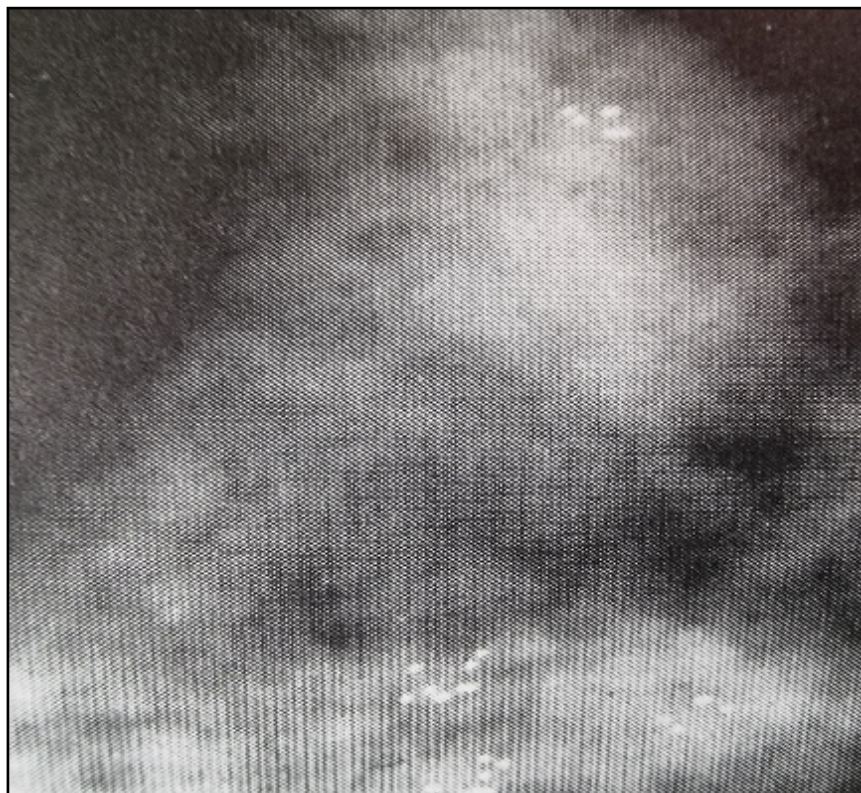
Los trabajos se iniciaron con el desarrollo de un algoritmo para detectar microcalcificaciones agrupadas en mamogramas digitalizados. En una segunda etapa, para cada una de las calcificaciones detectadas se evaluaron distintos parámetros, entre otros el número de microcalcificaciones dentro de cada grupo, el área individual y el promedio del conjunto, la forma, la intensidad media, y la distancia promedio entre calcificaciones. Para realizar esta evaluación se usó una base de datos compuesta por 120 mamogramas que fueron provistos por un centro de mastología de la ciudad de Rosario (ver Figura a continuación). Estos mamogramas contenían microcalcificaciones agrupadas que habían sido detectadas y clasificadas por radiólogos experimentados. Además, dichos resultados fueron corroborados mediante exámenes histológicos (biopsias). Para diferenciar las lesiones benignas y malignas y evaluar el porcentaje de casos correctamente clasificados, se usaron dos clasificadores estadísticos. Los resultados obtenidos mostraron que el algoritmo desarrollado permitía superar el diagnóstico generado por el examen visual de un profesional experto en mamografía. Estos trabajos dieron origen a una tesis doctoral de una becaria del CONICET. Lamentablemente, los mismos tuvieron que interrumpirse debido a que una vez defendida la tesis, la becaria emigró al extranjero por los problemas económicos generados en el año 2001. Cabe destacar que estos trabajos fueron distinguidos con el Premio Dr. C. Milstein otorgado por la Fundación Argentina de Diagnóstico Médico y auspiciado por la Asociación Argentina de Radiología.

■ SIEMPRE SE VUELVE AL PRIMER AMOR (*SPECKLE*)

Por mis contribuciones al desarrollo de la metrología de *speckle* y sus aplicaciones, a fines de 1998 fui promovido a la clase Investigador Principal del CONICET.

Como continuación de los trabajos sobre visualización de ondas térmicas, decidí comprobar si la detección de defectos internos se puede mejorar al usar una fuente de calor pulsada en lugar de calentamiento uniforme. Debido a que la longitud de una onda térmica es inversamente proporcional a la frecuencia y como además interesa estudiar la interacción de defectos con ondas de longitud similar al tamaño promedio de los mismos, la fuente de calor periódica se debe modular a frecuencias de algunas decenas de Hz. Por esta razón, como fuente de calor periódica se usó un láser de CO₂ pulsado cuya salida estaba sincronizada con la cámara de video de alta velocidad. Los trabajos preliminares realizados en muestras de aluminio conteniendo defectos internos mostraron que la detectabilidad de los mismos aumenta al utilizar ondas térmicas.

Es conocido que la precisión de los métodos usados para estimar las distribuciones de fase codificadas en las franjas de correlación generadas en DSPI disminuye fuertemente si las mismas contienen un nivel de ruido de *speckle* apreciable. Este ruido de *speckle* se observa claramente en la Figura Franjas de correlación generadas en DSPI mostrada más arriba. Por esta causa propuse investigar la aplicación de distintos métodos para suavizar dichas franjas. Uno de los métodos analizados se basaba en la aplicación de la transformada *wavelet* (ondículas) que es una generalización de la transformada de Fourier. En el caso de esta última,



Mamograma con microcalcificaciones agrupadas

una función se puede descomponer como una suma de funciones de tipo seno y coseno mientras que en la transformada *wavelet* la descomposición se lleva a cabo a través del desplazamiento y la expansión de funciones derivadas de una onda denominada *wavelet* madre. La precisión de este método fue analizada usando franjas de correlación simuladas por computadora y los resultados obtenidos se compararon con los producidos usando otras técnicas convencionales.

Para reducir el ruido de *speckle* contenido en las franjas de correlación también propuse la aplicación de un nuevo método de procesamiento de señales denominado Descomposición Empírica de Modos. Este método se basa en la descomposición de una señal en una suma de modos de oscilación de baja y alta frecuencia obtenidas de un pro-

ceso de tamizado. En consecuencia, esta técnica es un método adaptativo que no utiliza funciones de base fijas sino que la descomposición depende de la señal de entrada. En consecuencia, la señal suavizada se obtiene luego que las oscilaciones más rápidas debidas al ruido son removidas.

Ahora bien, cuando la superficie de un objeto presenta algún tipo de movimiento local, el diagrama de *speckle* que se observa evoluciona en el tiempo. Este fenómeno conocido como *speckle* dinámico es característico de las muestras biológicas, aunque también se puede observar en otros procesos industriales como son el secado de pinturas y los fenómenos de corrosión. El estudio de la evolución temporal de los diagramas de *speckle* provee una herramienta no destructiva y no invasiva para caracterizar los pará-

metros involucrados en dichos procesos. Para analizar estos resultados, desarrollamos un modelo numérico que permite generar una serie temporal de distribuciones de *speckle* dinámico basado en la superposición de las ondas difundidas por centros discretos. Usando este modelo se demostró que las estadísticas de primer y segundo orden de cada imagen de *speckle*, la historia temporal de la distribución de *speckle* y la evolución temporal del coeficiente de correlación reproducen muy bien los resultados obtenidos experimentalmente. El modelo numérico desarrollado se aplicó exitosamente al análisis del proceso de secado de una pintura.

En relación a los trabajos previamente descritos, para visualizar la actividad generada por una serie de *speckle* dinámico asociada a un proceso no estacionario, en colaboración con investigadores del Centro de Investigaciones Ópticas de La Plata se propuso como descriptor a la variancia espacial de las variaciones temporales de la fase. A tal efecto, la autocorrelación de la intensidad del *speckle* se calculó en ventanas que se desplazan a través de la imagen. Este descriptor se aplicó al análisis de los datos adquiridos en procesos de secado de pinturas y daños por impacto en frutas.

■ LA GESTIÓN CIENTÍFICA Y LAS TICS

En relación a los cargos de gestión que desempeñé quisiera destacar el de Director del IFIR entre Julio de 1987 y Abril de 1990, Subdirector del IFIR a cargo de la Sección de Física Experimental y Aplicada desde Abril de 1990 a Noviembre de 1999 y Director Académico de la carrera del Doctorado en Física de la UNR desde Mayo de 1995 a Mayo de 2002. Sin embargo, por mi dedicación y la duración, el cargo

de gestión más importante fue el de Director del Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS) dependiente del CONICET, la UNR y la Université d'Aix-Marseille, Francia, desde Marzo de 2008 a Febrero de 2016.

Debo mencionar que el CIFASIS fue creado en marzo de 2007 para superar la situación de demanda creciente de personal de alta capacitación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) por parte del sector productivo. Luego, en julio de 2007 el CONICET transformó al sitio argentino del CIFASIS en una nueva unidad ejecutora incorporada al Centro Científico Tecnológico Rosario (CCT Rosario), en cuyo predio está radicado. Este centro fue la primera unidad ejecutora del CONICET dedicada a la investigación y desarrollo en el área de las TICs, una de las áreas consideradas prioritarias en el Plan Estratégico Nacional en Ciencia, Tecnología e Innovación Bicentenario (2006-2010). En dicho Centro

se desarrollan investigaciones en las áreas de aprendizaje automatizado, fundamentos y aplicaciones de la lógica y la programación, informática aplicada a la ingeniería de procesos, ingeniería de software, bioinformática, procesamiento de señales multimedia, optimización y control, simulación y control de sistemas dinámicos, y dinámica de fluidos computacional e hidroinformática. El CIFASIS se estructuró como una institución de carácter fuertemente multidisciplinario, en la que trabajan informáticos, físicos, matemáticos e ingenieros. Los recursos humanos provienen fundamentalmente de las Licenciaturas en Computación, en Física y en Matemática y de Ingeniería Electrónica, todas éstas carreras de grado de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR.

Durante los primeros años después de su creación, los investigadores y becarios pertenecientes al CIFASIS estaban dispersos en distintos edificios, particularmente en ámbitos de la Escuela de Ingeniería Elec-



Enero de 1992. De vuelta en casa a bordo del Mercedes 53, después del viaje. Con Leonor y Oscar Beuter.

trónica de la UNR y en dos edificios pertenecientes al CCT Rosario. Este grave problema se solucionó con la mudanza en noviembre de 2012 al nuevo edificio con una superficie de 1800 m² distribuidos en tres plantas, que se construyó en el predio del CCT Rosario con fondos provistos por el Plan Federal de Infraestructura para la Ciencia y la Tecnología que llevó adelante el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

■ CIERRE, BALANCE Y FUTURO

Debo destacar que por mis antecedentes y contribuciones en el campo de la metrología óptica y el desarrollo de nuevos métodos de análisis de datos en DSPI, en el año 2010 fui promovido a la clase Investigador Superior del CONICET. Teniendo en cuenta que mi jubilación no estaba muy lejana, en ese año decidí recomenzar mis clases de pintura que habían quedado interrumpidas cuando nació mi primer hijo y entonces ingresé al taller de pintura de un conocido pintor rosarino. A continuación se muestra una obra pintada en ese tiempo.

Para finalizar esta breve reseña de mi vida académica, quisiera agregar que hasta el momento de mi jubilación en Diciembre de 2017, participé como autor o coautor en 199 publicaciones científicas, principalmente en revistas con referato y de alto impacto internacional, como coautor de 5 capítulos de libros y en particular como editor del libro *Advances in Speckle Metrology and Related Techniques*, publicado por Wiley VCH Verlag en 2011. También he trabajado intensamente en la formación de recursos humanos dirigiendo 13 tesis doctorales y co-dirigiendo otras 3 más.

En cuanto a mi desempeño en instituciones extranjeras, me desem-



Pintura realizada por el autor.

peñé como profesor visitante en el Laboratory of Stress Analysis, Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne, Setiembre y Octubre de 1989, *visiting research fellow* en el Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Setiembre y Octubre de 1990, profesor visitante en el Instituto de Física, Universidad de San Pablo, Mayo de 1991, *visiting research fellow* en la Division of Optical Engineering, Mechanical Engineering Laboratory, Japón, Marzo de 1993, *visiting research fellow*

en el Department of Mechanical Engineering, Loughborough University, Junio y Julio de 1994, Febrero de 1995, Agosto de 1996, Marzo de 1998, Enero y Febrero de 1999, Enero y Febrero de 2001, investigador visitante en el Centro de Investigaciones en Óptica, México, Setiembre de 1996 y Junio de 1997 e investigador visitante en el Grupo de Metrología Óptica, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Vigo, España, Marzo de 1998.

Para concluir quisiera mencionar que por mis contribuciones al desarrollo de la metrología óptica y sus aplicaciones en mecánica experimental, ciencia de materiales y ensayos no destructivos, fui electo *Fellow Member* de SPIE (The International Society for Optical Engineering) en 2002, obtuve el Premio Bernardo Houssay a la Investigación Científica y Tecnológica en 2003, fui designado *Fellow Member* de *The Optical Society of America* en 2010, obtuve en 2015 la *Chandra S. Vikram Award for Optical Metrology*, otorgado por SPIE, en 2016 la *ICO Galileo Galilei Award* otorgado por la *International Commission for Optics* y fui designado miembro de la Academia de Ciencias Médicas de la Provincia de Santa Fe en 2019.