

# Perfiles

## Sebastián Torres

Científico e investigador en el  
"National Severe Storms Laboratory"

por Fernando Aguado



Entrevistamos en esta ocasión a Sebastián Torres, un investigador argentino experto en radares meteorológicos que trabaja en el "National Severe Storms Laboratory" (NSSL), el laboratorio estadounidense que la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) tiene instalado en Norman (Oklahoma).

Sebastián Torres se graduó en Ingeniería en la Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina) en 1995 y después se fue a los EEUU para ampliar sus estudios en la Universidad de Oklahoma (EEUU). Allí obtuvo el Master en 1997 y poco después, en 2001, el doctorado (ambos en Ingeniería Electrónica) con una tesis dirigida por los profesores D. S. Zrnich y J. R. Cruz que llevaba por título "Estimation of doppler polarimetric variables for weather radars". Desde 1997, Sebastián Torres trabaja como científico e investigador en el NSSL, cedido por el "Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies" (CIMMS) de la Universidad de Oklahoma. A pesar de su juventud, ha recibido ya varias distinciones, como la medalla de plata del Departamento de Comercio de los EEUU y el premio (2003-2004) a la mejor publicación científica otorgado por la Oficina de Investigaciones Oceánicas y Atmosféricas de EEUU.

**Antes de nada, quiero agradecerte en nombre de nuestros lectores la amabilidad que has tenido al concedernos esta entrevista. Seguro que muchos la leerán con interés, dada la pasión que despierta en el mundo de la meteorología todo lo relacionado con los radares meteorológicos. Comencemos, si te parece, hablando del NSSL pues, aunque es bastante conocido ya, tú podrás transmitirnos una idea más próxima sobre su misión, estructura y actividades.**

El NSSL se dedica al estudio de los procesos meteorológicos severos y peligrosos y al desarrollo de herramientas con el fin de fomentar un uso más eficiente de la información meteorológica y así asistir tanto a pronosticadores del Servicio Meteorológico Nacional como a colegas de otras entidades gubernamentales, de diversas universidades y también del sector privado. El laboratorio cuenta con tres divisiones: la de predicción, la de alertas y la de radares. Estas tres divisiones

llevan a cabo investigación en las áreas científicas troncales del NSSL gracias a una mezcla de recursos, talento y conocimiento y tienen los siguientes objetivos en común:

- Perfeccionar los radares meteorológicos actualmente en operación y diseñar y evaluar nuevos sistemas de radares.
- Desarrollar y evaluar herramientas para mejorar las predicciones y alertas meteorológicas.
- Desarrollar herramientas hidro-meteorológicas para la predicción y la vigilancia de tormentas severas.
- Realizar investigaciones de campo para mejorar el conocimiento básico de los procesos asociados con tormentas severas.

Estratégicamente, el NSSL mantiene acuerdos cooperativos de investigación con CIMMS, uno de los institutos cooperativos de NOAA. Otros colaboradores incluyen a la Marina, la Fuerza Aérea, la Armada, el Departamento de Transporte y la Administración Federal de Aviación, así como también otras universidades y corporaciones privadas. El NSSL se ha integrado recientemente con otros organismos meteorológicos en el flamante "National Weather Center". Este nuevo complejo está dedicado a la investigación y predicción de fenómenos meteorológicos severos y fue diseñado para fomentar la colaboración y comunicación entre los distintos integrantes de la comunidad meteorológica de Norman.

**Tú trabajas en la división de radares, que es la encargada de mejorar la tecnología de los radares meteorológicos y desarrollar y transferir nuevas aplicaciones y algoritmos al Servicio Meteorológico Nacional de los EEUU. ¿Podrías describirnos brevemente los principales proyectos de investigación que lleváis a cabo actualmente?**

Si, como no. Los proyectos de investigación se dividen de acuerdo al instrumento en cuestión en dos grandes categorías: mejoras a los radares WSR-88D y evaluación de la tecnología de arreglo de fases para observaciones meteorológicas. Como sabes, los radares WSR-88D son los radares meteorológicos que actualmente utilizan el Servicio Meteorológico Nacional, el Departamento de Defensa y la Administración Federal de Aviación de los EEUU. La red nacional NEXRAD fue desplegada en el año 1988 e incluye más de 150 radares Doppler del tipo WSR-88D. Esta tecnología fue inicialmente desarrollada por el NSSL y en la actualidad buscamos extender la funcionalidad y capacidades del WSR-88D por medio de técnicas

tales como polarización dual, resolución del dilema Doppler, superresolución, sobremuestreo y otras técnicas avanzadas de procesamiento de señales. Nuestro grupo tiene un papel fundamental en la transferencia de nuevas tecnologías al campo operacional, donde los frutos de nuestro trabajo de investigación tienen un impacto directo sobre la economía del país y sobre todo el bienestar de los habitantes del mismo. Los radares de arreglo de fases son comúnmente usados en comunicaciones, defensa y aplicaciones espaciales. No obstante, el NSSL ha tomado el desafío de adaptar y evaluar esta tecnología para la observación de fenómenos meteorológicos. Este es un proyecto de gran importancia, no sólo por el uso novedoso que se le está dando a estos radares sino también por el enorme potencial que tienen de revolucionar el uso de los radares en meteorología.

**Dentro de los proyectos dirigidos a la mejora de los radares WSR-88D, has mencionado algunos que no parecen exigir cambios en la tecnología instalada que vayan más allá de la instalación de nuevos algoritmos de procesamiento de señal. Me refiero a las técnicas de resolución del "dilema doppler", de superresolución y de sobremuestreo. ¿Podrías describirnos el fundamento y aplicación de esas técnicas y su posible uso en radares de media potencia y tecnología de magnetrón, como los que opera actualmente el INM en España?**

Comencemos con las técnicas de resolución del "dilema Doppler". En los radares Doppler de pulsos, la longitud de onda y la frecuencia de repetición con que los pulsos son transmitidos determinan unívocamente el rango y la velocidad Doppler máximos que pueden observarse sin ambigüedad. Desafortunadamente, estos dos parámetros están acoplados inversamente; por ejemplo, el uso de altas frecuencias de repetición de pulsos permite extender el rango de observación no ambigua de velocidades Doppler con la desventaja de una disminución correspondiente en el rango de cobertura. Las técnicas que ayudan a mitigar el "dilema Doppler" permiten extender ambos parámetros al mismo tiempo y resultan de gran importancia para la observación sin contaminación de fenómenos meteorológicos severos. Cabe destacar que el problema del dilema Doppler es más crítico a longitudes de onda más cortas. En nuestro grupo hemos desarrollado dos técnicas complementarias para los radares WSR-88D que a continuación paso a describir.

La primera es la codificación sistemática de la fase de los pulsos. Esta técnica ya ha sido adoptada por el Servicio Meteorológico Nacional y estará disponible en todos los radares WSR-88D a mediados de este año. Su principio de funcionamiento se basa en las características diferentes que el código de fase imparte a los ecos provenientes de distintos viajes que se solapan en el radar. Usando las propiedades del código es posible separar ecos solapados y de esta forma se puede extender el rango máximo de observación no ambigua. La otra técnica que ayuda a mitigar el dilema Doppler consiste en la transmisión de pulsos con frecuencias de repetición entrelazadas ("staggered PRT"). Este método permite extender la velocidad máxima no ambigua puesto que las velocidades Doppler correspondientes a cada frecuencia de repetición manifiestan

ambigüedad de forma diferente. De esta manera se pueden usar bajas frecuencias de repetición de pulsos para evitar el solapamiento de ecos y al mismo tiempo extender el intervalo no ambiguo de velocidades Doppler. Esta última técnica está siendo evaluada por el Servicio Meteorológico Nacional para futuras actualizaciones de la red NEXRAD. En principio ambas técnicas tienen aplicación en diversos tipos de radares, sin embargo, la técnica de codificación sistemática de la fase de los pulsos requiere sistemas con transmisión coherente tipo klystron o TWT. Radares con tecnología de magnetrón pueden implementar una variante de esta técnica denominada codificación aleatoria de la fase de los pulsos.

Pasando ahora a la técnica de superresolución, es importante recordar que en la actualidad los radares WSR-88D producen reflectividades con una resolución espacial de 1 km por 1 grado y velocidades Doppler con una resolución de 250 m



Radares WSR-88D (derecha) y de arreglo de fases (izquierda) del NSSL

por 1 grado. Investigadores del NSSL determinaron que una resolución espacial más fina facilitaría el reconocimiento de tornados y mesociclones a rangos mayores que los que se alcanzan en la actualidad. Debido al potencial de producir alertas más tempranas, el Servicio Meteorológico Nacional decidió adoptar la superresolución, que consiste en suministrar todas las variables con una resolución espacial de 250 m por 0.5 grados. Este cambio, que se hará efectivo en aproximadamente un año, permitirá la detección de tornados un 50% más distantes de lo que es posible con el procesamiento vigente. Puesto que esta técnica es independiente de la potencia o tecnología del radar, su aplicación se extendería por igual a los radares que maneja el Instituto Nacional de Meteorología de España.

Finalmente, en cuanto a las técnicas de sobremuestreo en rango, éstas responden a las solicitudes de los usuarios que frecuentemente requieren información meteorológica del radar con mayor asiduidad y exactitud. Mediante estas técnicas es posible reducir la incerteza de las variables meteorológicas sin sacrificar resolución espacial ni la periodicidad de las observaciones volumétricas del radar. Como la palabra lo indica, las técnicas de sobremuestreo consisten en muestrear las señales meteorológicas a intervalos más frecuentes que lo habitual.

Estas muestras no conllevan gran cantidad de información independiente, ya que corresponden a volúmenes de resolución solapados casi en su totalidad. Sin embargo, como este solapamiento es específico y predeterminado, los datos sobre-muestreados pueden transformarse para extraer la mayor información posible de cada uno de ellos. Mediante este proceso es posible incrementar el número efectivo de muestras disponibles para el proceso de estimación y así reducir considerablemente los errores de las variables meteorológicas. Una desventaja de esta técnica es la complejidad computacional y la disminución en la sensibilidad del radar. En radares de media potencia eso puede ser un precio importante a pagar dependiendo del rango máximo requerido para las observaciones meteorológicas.



Sala de control del radar por arreglo de fases del NSSL

**Es muy interesante tu descripción y tentados estamos de profundizar un poco más. Sin embargo, no lo vamos a hacer porque el tema es difícil y el espacio de la entrevista, corto. Por tanto, ¿qué te parece si nos hablas ahora del proceso de transferencia de tecnologías al campo operacional?. Me refiero a la integración operativa, la elaboración de manuales, el adiestramiento, etc. Supongo que será para vosotros un tema laborioso pero apasionante.**

Sí, es cierto. Una de las misiones principales y más complejas del NSSL es la transferencia de tecnología al campo operacional. Es, como tú dices, una tarea apasionante ya que es el resultado de años de investigación puestos al servicio de la sociedad. Esto es muy gratificante, pero dado que estamos hablando de la modificación de una red de más de 150 radares, resulta en un proceso bastante arduo. Todo comienza con una necesidad concreta que manifiestan los usuarios del radar. Por ejemplo, consideremos el caso de la mitigación del dilema Doppler. Hasta hace poco tiempo las técnicas existentes dedicadas a esta función no tenían la eficacia requerida. Es así que, comúnmente, los campos de velocidad Doppler producidos por el radar se encontraban plagados de zonas "oscurecidas", es decir, zonas en las que el procesador no había podido estimar con certeza los parámetros Doppler de la señal meteorológica. Obviamente, esto hacía que la detección de fenómenos severos que ocurrían en esas zonas fuera dificultosa y muchas veces incluso imposible. A partir de esta necesidad es que el Centro de Operación de Radares dependiente del Servicio Meteorológico Nacional inició un acuerdo de colabora-

ción con el NSSL para que desarrollemos técnicas más eficientes que ayuden a mitigar este problema. De esta forma nuestro grupo comenzó a trabajar en técnicas de mitigación del dilema Doppler en el año 1997. Comenzamos analizando un número de alternativas hasta que definimos como mejores candidatas a las dos técnicas que antes te detallé. Una vez que estas técnicas fueron desarrolladas, las mismas debieron ser adaptadas para su implementación en el campo operacional. Este proceso no es para nada trivial, ya que durante la fase de investigación no existían las limitaciones que impone el hardware y el software del sistema. Es en esta etapa donde es fundamental contar con expertos tanto en las técnicas desarrolladas como en los subsistemas y los métodos de operación del radar. En general, la implementación de una nueva tecnología a nivel operacional trae aparejada una serie de cambios que afectan a un gran número de subsistemas y por sobre todo a los usuarios de los datos del radar. Además de identificar, desarrollar, validar y verificar una determinada técnica, debe decidirse cómo va a incorporarse esta nueva tecnología en el paradigma de operación existente. En el caso de la codificación sistemática de fase para la mitigación del dilema Doppler se decidió que esta técnica se utilizaría sólo en los ángulos de elevación más bajos. Además, los operadores del radar tendrían la opción de volver a usar las técnicas anteriores en caso de ser necesario. Y aquí surge un punto que es crucial en todo proceso de transferencia de tecnología: el factor humano. En el caso que he tomado como ejemplo, los operadores debieron ser entrenados en los fundamentos de esta nueva técnica: su uso, beneficios y situaciones meteorológicas donde se esperaría un mayor rendimiento. Igualmente importante es el tema de conseguir el soporte financiero para las etapas de investigación, desarrollo, implementación, validación, entrenamiento y despliegue operacional. En las últimas etapas del proceso, investigadores del NSSL pasan a ocupar el rol de consultores técnicos o expertos en la materia, y se limitan a brindar recomendaciones. Todas las decisiones operacionales que deben tener en cuenta prioridades, financiamiento y el uso de recursos humanos son tomadas por el Centro de Operaciones de Radares. En conclusión, el proceso de transferencia de tecnología lleva años de intenso trabajo por parte de un grupo muy diverso de expertos y representantes de los principales grupos de usuarios. El esfuerzo, sin embargo, se cosecha con creces, ya que es fundamental para la continua modernización de una herramienta que, como todos sabemos, hoy en día es crucial para la predicción meteorológica.

**Háblanos ahora de cómo va el proyecto que están desarrollando sobre polarización dual y del que todos esperamos tanto. ¿Habrá pronto radares de ese tipo en los dispositivos de vigilancia meteorológica?**

Sí, ese proyecto marcha muy bien. Como sabes, los beneficios de la polarización dual para la observación meteorológica han sido extensamente documentados por científicos y meteorólogos a nivel mundial. Los radares polarimétricos tienen la capacidad de estimar precipitación con mayor exactitud, la habilidad de tipificar los ecos recibidos y discriminar, por ejemplo, la lluvia de la nieve o la nieve del granizo y finalmente la disponibilidad de variables meteorológicas adicionales que permiten una mejora en la calidad de las observacio-

nes, tal como la cancelación de ecos producidos por blancos biológicos o por el terreno. Como es de esperar, la implementación de un proyecto de tal magnitud que involucra modificaciones en todos los subsistemas del radar no es algo trivial. El NSSL ha tenido un rol fundamental en la transferencia de esta tecnología al Servicio Meteorológico Nacional mediante el diseño y fabricación del único prototipo WSR-88D con polarización dual, la validación de esta tecnología para su utilización a nivel operacional y el desarrollo de algoritmos de estimación y clasificación para un máximo aprovechamiento. La culminación de este esfuerzo será en un par de años cuando todos los radares de la red NEXRAD se modernicen para incluir la tan esperada tecnología de polarización dual.



El Centro Nacional de Meteorología de Norman (Oklahoma). Cerca de 550 científicos, meteorólogos, climatólogos, ingenieros, técnicos, personal administrativo y estudiantes de grado y post-grado ocupan este flamante edificio de 69 millones de dólares.

**Y qué puedes decirnos del radar de arreglo de fases. Es algo tan novedoso en instrumentación meteorológica que nos cuesta incluso imaginar las ventajas que puede tener, ¿Te importaría satisfacer un poco nuestra curiosidad?**

Por supuesto, este proyecto es interesantísimo ya que nos está dando la oportunidad de ser pioneros en evaluar la tecnología de los radares meteorológicos del futuro. Como es sabido, los radares comunes que utilizan antenas parabólicas barren en haz de forma mecánica mediante el movimiento controlado de la antena. A diferencia de éstos, los radares con antena de arreglo de fases tienen la ventaja de poder dirigir el haz electrónicamente. Esto permite la exploración casi simultánea de distintas áreas de interés y la posibilidad de desarrollar estrategias de barrido "adaptivas" que respondan a las necesidades meteorológicas del momento. Este proyecto se originó en el año 2000, cuando la Marina de los EEUU cedió al NSSL un radar de arreglo de fase originalmente usado como radar táctico en grupos de batalla navales. Investigadores del NSSL sostienen que esta misma tecnología tiene la capacidad

de producir alertas meteorológicas más tempranas, de mejorar la exactitud de las observaciones y de reducir la incerteza asociada con la predicción de eventos severos. Mediante la colaboración entre organismos gubernamentales y un número de compañías privadas, este proyecto ha adquirido una gran relevancia ya que radares basados en la tecnología de arreglo de fases reemplazarían eventualmente a los WSR-88D en la red NEXRAD. Además de los beneficios asociados con las observaciones meteorológicas, la tecnología de arreglo de fases favorece el diseño de sistemas de observación con aplicaciones múltiples. Esto permitiría, por ejemplo, la utilización de una única red de radares multifunción para la vigilancia del espacio aéreo y la observación meteorológica simultáneas. Este proyecto de largo plazo resultaría en una red de observación con costos de desarrollo, implementación y manutención menores de los que se requerirían para sustentar la actualización y el mantenimiento de las diversas redes que existen en la actualidad.

**Veo que trabajo no falta. Además, todavía no hemos entrado en las actividades de perfil académico en que seguramente estás involucrado, la colaboración con departamentos universitarios, la dirección de proyectos de fin de carrera, etc. ¿Puedes hablarnos de eso?, ya para terminar.**

El NSSL tiene una relación muy estrecha con los departamentos de Ingeniería Electrónica y Meteorología de la Universidad de Oklahoma, con los que llevamos varios proyectos en colaboración. Esta alianza se da naturalmente, puesto que todos estamos ubicados dentro del Centro Nacional de Meteorología. De esta forma, hemos creado el Centro de Investigación de Radares Atmosféricos que está dedicado a la investigación y a la enseñanza de todo aquello relacionado con los radares meteorológicos. Conjuntamente, se ha desarrollado un excepcional programa interdisciplinario de grado y postgrado en el que intervienen tanto los profesores de cada departamento como investigadores y otros miembros de la comunidad científica del Centro Nacional de Meteorología. Gracias a este programa, tengo el placer de dictar regularmente cursos de grado y de postgrado en el área de procesamiento de señales meteorológicas. Asimismo, participo como codirector de tesis de alumnos de maestría y doctorado que comparten mis intereses científicos. Además de esta tarea regular, he dictado cursos cortos en forma esporádica. Por ejemplo, el año pasado tuve el honor de dictar un curso corto de una semana en dos universidades de Corea del Sur. Como te imaginarás, estas han sido experiencias invaluable que complementan mis actividades de transferencia de tecnología e investigación en el NSSL.

**Ojalá que algún día tengamos la oportunidad de ir a escucharte en un curso de esas características, porque aprenderíamos mucho. En cualquier caso, te agradecemos muy sinceramente la amabilidad que has tenido con nosotros y el esfuerzo que seguramente habrás hecho para explicar temas de ingeniería complicados en un tan lenguaje sencillo y accesible como el que has utilizado.**