



**VII SYMPOSIUM OF COMPUTER AIDED DESIGN AND ENGINEERING,
BIOMECHANICS AND MECHATRONICS**

**Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Compost Turning: A
Coupled CFD-DEM and Field Study**

***Modelado de emisiones de gases de efecto invernadero durante el volteo
del compost: un estudio combinado de CFD-DEM y trabajo de campo***

**Ibtihaj Faridi¹, Andre Katterfeld¹, Max Cichocki², Christian Landschützer², Eva
Reitbauer³, Fabian Theurl³**

- 1- Otto-von-Guericke University Magdeburg, Institute of Logistics and Material Handling Systems, Germany. E-mail: andre.katterfeld@ovgu.de
- 2- Graz University of Technology, Institute of Logistics Engineering; Inffeldgasse 25/E, 8010 Graz, Austria; itl.tugraz.at
- 3- Graz University of Technology, Institute of Geodesy; Steyrergasse 30, 8010 Graz, Austria

Abstract: Greenhouse gas emissions during compost turning are often attributed to convective airflows caused by mechanical agitation. Yet the physical mechanisms governing the release and dispersion of CO₂ and CH₄ during this process remain poorly characterized. In this work, we developed and validated a CFD-DEM simulation framework to investigate how mechanical agitation by an electrically powered compost turner affects the release and spread of these greenhouse gases by resolving the coupled dynamics of particle motion, airflow, and emission transport. Using ANSYS Fluent and ANSYS Rocky, the simulation captured transient flow fields generated by compost-blade interaction, with peak local air velocities reaching 5 m/s near the turning mechanism and decaying rapidly below 0.2 m/s within half a meter downstream. Material behavior was calibrated using site-specific compost samples through angle of repose ($47^\circ \pm 1.5^\circ$) and drawdown tests to ensure realistic bulk flow characteristics. Moreover, the simulation results revealed that regions with visible emission plumes were characterized by surprisingly low airflow. Field validation using thermo-anemometry and vane



anemometry also confirmed near-stagnant velocity fields (typically below 0.1 m/s) in these zones. Nevertheless, in-situ gas concentration measurements showed sharp CH₄ and CO₂ spikes of up to 40%, before rapidly returning to baseline. These emissions were highly localized—within a 1–1.5 m corridor behind the turner—and absent during idle periods. The simulation results also demonstrate that gas release in composting is driven not by sustained convective transport, but by mechanical disruption of gas-laden pore spaces within the compost structure. The validated CFD-DEM approach proved essential for resolving this behavior and provides a foundation for spatially targeted, event-synchronized emission control strategies. By offering a physically grounded understanding of emission mechanics and transport, this work supports the development of climate-oriented process optimizations in composting systems, where CO₂ and CH₄ reduction is increasingly critical for environmental compliance and sustainability goals.

Keywords: Greenhouse gas emissions, compost, simulation, DEM, CFD.

Resumen: Las emisiones de gases de efecto invernadero durante el volteo del compost suelen atribuirse a flujos de aire convectivos provocados por la agitación mecánica. Sin embargo, los mecanismos físicos que rigen la liberación y dispersión de CO₂ y CH₄ durante este proceso siguen estando poco caracterizados. En este trabajo, se desarrolló y validó un marco de simulación CFD-DEM para investigar cómo la agitación mecánica mediante un volteador de compost eléctrico afecta la liberación y propagación de estos gases de efecto invernadero, resolviendo la dinámica acoplada del movimiento de partículas, el flujo de aire y el transporte de emisiones. Utilizando ANSYS Fluent y ANSYS Rocky, la simulación capturó campos de flujo transitorios generados por la interacción entre el compost y las palas, con velocidades locales máximas del aire de hasta 5 m/s cerca del mecanismo de volteo, que se redujeron rápidamente por debajo de 0.2 m/s a medio metro aguas abajo. El comportamiento del material se calibró usando muestras específicas del sitio mediante pruebas del ángulo de reposo ($47^\circ \pm 1.5^\circ$) y de vaciado, con el fin de asegurar características realistas del flujo del material a granel. Además, los resultados de la simulación revelaron que las regiones con penachos visibles de emisiones se caracterizaban por tener un flujo de aire sorprendentemente bajo. La validación en campo mediante termoanemometría y anemometría de paletas también



confirmó campos de velocidad casi estancados (típicamente por debajo de 0.1 m/s) en estas zonas. No obstante, las mediciones in situ de concentración de gases mostraron picos agudos de CH₄ y CO₂ de hasta un 40%, que regresaban rápidamente a niveles base. Estas emisiones eran altamente localizadas—dentro de un corredor de 1–1.5 m detrás del volteador—y estaban ausentes durante los periodos de inactividad. Los resultados de la simulación también demostraron que la liberación de gases en el compostaje no es impulsada por un transporte convectivo sostenido, sino por la disrupción mecánica de espacios porosos cargados de gas dentro de la estructura del compost. El enfoque CFD-DEM validado resultó esencial para resolver este comportamiento y proporciona una base para estrategias de control de emisiones espacialmente dirigidas y sincronizadas con eventos. Al ofrecer una comprensión físicamente fundamentada de los mecanismos y el transporte de emisiones, este trabajo respalda el desarrollo de optimizaciones orientadas al clima en sistemas de compostaje, donde la reducción de CO₂ y CH₄ es cada vez más crítica para el cumplimiento ambiental y los objetivos de sostenibilidad

Palabras Claves: Emisiones de gases de efecto invernadero, compostaje, Simulación